

TEKNILLINEN KORKEAKOULU

RAKENNUS- JA YMPÄRISTÖTEKNIIKAN OSASTO

Outi Kesäniemi

KATUMAJÄRVEN HULEVESIKUORMITUS

JA SEN VÄHENTÄMINEN

Teknillisen korkeakoulun rakennus- ja ympäristö-
tekniikan osastolla professori Tuomo Karvosen
valvonnassa tehty diplomityö

Espoo 9.12.2004

TEKNILLINEN KORKEAKOULU

DIPLOMITYÖN TIIVISTELMÄ

Tekijä ja työn nimi : Outi Kesäniemi
Katumajärven hulevesikuormitus ja sen vähentäminen

Päivämäärä : 9.12.2004

Sivumäärä : 101

Osasto : Rakennus- ja ympäristötekniikka

Professuuri : Vesitalous ja
vesirakennus

Työn valvoja : Professori Tuomo Karvonen

Työn ohjaaja : FT Heli Jutila

Avainsanat : Hulevedet, kaupunkihydrologia, käsittelymenetelmät, HBV

Työssä selvitetään ensin kaupunkialueen hydrologian erityispiirteitä sekä hulevesien käsittelymenetelmiä. Soveltavassa osuudessa kuvataan mittaus- ja näytteenotto toiminta ja näiden tulokset sekä suunnitellaan hulevesien käsittelyratkaisu vuoden 2007 asuntomessualueelle.

Työssä tutkittiin Hämeenlinnassa keskustan tuntumassa sijaitsevan Katumajärven ympäristön suurimman sadevesiviemäroidyn valuma-alueen (57,8 ha) hulevesivirtaamia ja ainepitoisuuksia keväällä lumien sulaessa sekä kesäaikana. Järven ympäristössä on kaupunkimaista aluetta 246,5 ha. Keväällä otettujen 19 vesinäytteen keskimääräinen kokonaistyyppipitoisuus oli 3642 µg/l, keskimääräinen kokonaisfosforipitoisuus 92 µg/l, KMnO₄-luku 32 mg/l ja kiintoainepitoisuus 21 mg/l. Pitoisuudet korreloivat positiivisesti virtaaman kanssa kokonaistyyppiä lukuun ottamatta, jonka korrelaatio oli negatiivinen. Sulanta-ajan valumat mallinnettiin HBV-mallilla, johon oli lisätty yksinkertainen astepäivätekijään perustuva lumen sulamismalli. Selitysasteeksi saatiin 0,67. Kesäaikana otettiin 9 näytettä, joiden ainepitoisuudet olivat kokonaistypen osalta 1664 µg/l, kokonaisfosforin osalta 148 µg/l ja kiintoaineen osalta 43 mg/l. KMnO₄-luku oli 43 mg/l. Kesäajan ainepitoisuudet olivat sulanta-aikaa suurempia paitsi typen osalta. Pitoisuudet olivat samaa suuruusluokkaa sekä RYVE-projektin että Valtakunnallisen hulevesitutkimuksen tulosten kanssa.

Kokonaistypen, kokonaisfosforin ja kiintoaineen vuosikuorma ajalle 1994–2003 laskettiin käyttäen HUT-CONCEP –mallia ja kaikkien järven kaupunkialueilta laskevien ojien vesinäytteiden tuloksia vuodesta 1994 alkaen. Keskimääräiset vuosihuuhtoumat kaupunkialueilta olivat typelle 6,9 kg/ha/a, fosfaatille 0,18 kg/ha/a, kokonaisfosforille 0,28 kg/ha/a ja kiintoaineelle 92,6 kg/ha/a. Arvot ovat hyvin lähellä RYVE-projektin vastaavia arvoja. Kokonaistypen vuosihuuhtouma kaupunkialueilta Katumajärveen oli siten keskimäärin 1711 kg/a (6 % järven kokonaiskuormasta), fosfaatin 44 kg/a, kokonaisfosforin 69 kg/a (8 % kokonaiskuormasta) ja kiintoaineen 22 836 kg/a (15 % kokonaiskuormasta).

Harvoilanmäen vuoden 2007 asuntomessualueelle suunniteltiin hulevesien käsittelykohde, joka koostui laskeutusaltaasta ja kosteikosta. Se mitoitettiin rankkuudeltaan sellaisen sateen mukaan, joita sattuu kerran viidessä vuodessa tai harvemmin ja joka kestää tunnin.

Author and name of the thesis : Outi Kesäniemi

The Effects and Management of Urban Storm Water Runoff in Catchment of Lake Katumajärvi

Date : 9 December 2004**Number of pages :** 101**Department :** Civil and Environmental Engineering**Professorship :** Water Resources**Supervisor :** Professor Tuomo Karvonen**Instructor :** Heli Jutila, Ph.D.**Keywords :** Stormwater, urban hydrology, storm water treatment

The first part of this thesis discusses the effects of urbanization on hydrological cycle and describes some stormwater management practices. The second part presents the experimental research and results of urban runoff in Hämeenlinna including water samples and runoff measurement. Also a stormwater treatment practice for Harvoilanmäki housing fair area is presented including a wet pond and a wetland.

Water samples were taken and the discharge was measured in the second biggest stormwater drainage of Lake Katumajärvi with area of 57.8 hectares both during snowmelt (19 samples) and in the summer (9 samples). Urbanized area around the lake is 246.5 hectares. Concentrations had positive correlations with runoff except for nitrogen. Summer samples had higher concentrations compared to snowmelt due to greater runoff except for nitrogen. Snowmelt runoff was modelled using HBV with coefficient of determination of 0.67.

In snowmelt samples the average concentration for total nitrogen was 3642 µg/l, for total phosphorus 92 µg/l, and for total solids 21 mg/l. KMnO_4 consumption was 32 mg/l. In summer samples the average concentration for total nitrogen was 1664 µg/l, for total phosphorus 148 µg/l, and for total suspended solids 43 mg/l. KMnO_4 consumption was 43 mg/l. Concentrations were very close to two other Finnish experimental stormwater studies.

Annual load for total nitrogen, for total phosphorus, and for total solids for the period of 1994-2003 was calculated using HUT-CONCEP –model and existing water samples from all the ditches from urban areas around the lake. The average annual loads per hectare from urban areas were for total nitrogen 6.9 kg/ha/a, for total phosphorus 0.28 kg/ha/a and for total solids 92,6 kg/ha/a. Thus the average annual load of Lake Katumajärvi was for total nitrogen 1711 kg/a, for total phosphorus 69 kg/a, and for total solids 22836 kg/a. Pollutant load from urban areas represents 6-15 % of the total load of the lake.

Alkusanat

Tämä työ on tehty opinnäytteenä Teknillisen korkeakoulun vesitalouden ja vesirakennuksen laboratoriolle. Työn tilaaja on Hämeenlinnan seudun kansanterveystyön kuntayhtymän ympäristöosasto, ja työ on osa ympäristöosaston EU-hanketta Kanta-Hämeen järvet kestävään kehitykseen.

Kiitän Hämeenlinnan Seudun Vesi Oy:n toimitusjohtajaa Timo Heinosta virtaamamittausten rahoittamisesta ja Tapani Sulinia ja Marja Leimua käytännön avusta virtaamamittarin asentamisessa ja ylläpidossa. Kiitokseni myös Hämeen tietotekniikkakeskus Oy:n Tero Lehtoselle, jolta sain käyttööni Hämeenlinnan sadanta- ja lämpötilatietoja. Kiitän myös työni ohjaajaa, projektipäällikkö Heli Jutilaa mahdollisuudesta saada tehdä tämä työ sekä palautteesta ja ehdotuksista työtä tehdessäni. Erityisesti haluan kiittää professori Tuomo Karvosta työtäni edistäneistä ideoista ja nopeista vastauksista kysymyksiini.

Espoossa 9.12.2004

Outi Kesäniemi

Sisällysluettelo

1	Johdanto.....	1
2	Kaupunkialueen hydrologia	4
2.1	Määritelmiä.....	4
2.2	Suomen ilmasto	5
2.3	Suomalaisia hulevesitutkimuksia	6
2.4	Rakennetun alueen hydrologian erityispiirteitä.....	7
2.4.1	Sadanta ja haihdunta rakennetulla alueella.....	7
2.4.2	Valunta rakennetulla alueella	7
2.5	Aineiden huuhtoutuminen rakennetulla alueella	9
2.5.1	Sadannan aiheuttama huuhtouma	9
2.5.2	Sulannan aiheuttama huuhtouma.....	13
2.6	Hulevesien aiheuttamat ongelmat.....	15
2.7	Hulevesivalunnan määrän arvioiminen	17
3	Hulevesien käsittelymenetelmiä.....	19
3.1	Yleistä.....	19
3.2	Imeytykseen (infiltration) perustuvat menetelmät.....	22
3.2.1	Läpäisevät pinnoitteet (porous pavements)	24
3.2.2	Imeytysaltaat ja – kentät (infiltration basins and trenches)	24
3.3	Kosteikot ja laskeutusaltaat (wetlands and ponds).....	26
3.3.1	Viivytytys (detention) ja pidätys (retention)	26
3.3.2	Kosteikot	27
3.3.3	Laskeutusaltaat	28
3.3.4	Yhdistelmäcosteikot	29
3.3.5	Talvenaikaiset ongelmat.....	29
3.4	Suodattamiseen (filtration) perustuvat menetelmät.....	30
3.5	Hulevesien johtaminen kasvillisuuden peittämiä alueita pitkin	31
3.6	Lähteiden vähentäminen.....	31
4	Suomalaisia hulevesiratkaisuja ja puhdistustuloksia.....	32
4.1	Espoon Pihlajarinne.....	32
4.2	Vaasassa toteutetut koeratkaistut.....	33
4.3	Vihdin kosteikko	34
4.4	Helsingin Viikin ekologinen asuinalue	34

4.5	Oulun Toppilansaaren viheralue-suunnitelma	35
5	Kokeellinen osa	37
5.1	Tutkimusalueiden valinta ja ongelman rajaaminen	37
5.2	Virtaamamittausten suoritus	42
5.3	Näytteenotto	43
5.4	Laboratorioanalyysit	44
6	Tulokset ja niiden analysointi	45
6.1	Sadanta ja lämpötila maaliskuusta heinäkuuhun vuonna 2004	45
6.2	Auringon säteilyteho	52
6.3	Sulanta-ajan virtaamat	52
6.3.1	Pinnankorkeuden ja virtaaman välinen yhteys	56
6.3.2	Virtaamien korrelaatio lämpötilan kanssa	57
6.4	Sulanta-ajan virtaaman mallinnus	59
6.4.1	HBV-malli	59
6.4.2	Mallin tulokset	65
6.5	Sulanta-ajan ainepitoisuudet	67
6.5.1	Näytteiden ainepitoisuudet	68
6.5.2	Ainepitoisuuksien ja virtaamien korrelaatio sekä korrelaatiot aineiden välillä	69
6.6	Sulan ajan virtaamat	70
6.7	Sulan ajan ainepitoisuudet	71
6.7.1	Kokonaistyyppi	72
6.7.2	Kokonaisfosfori	73
6.7.3	KMnO ₄ -luku	73
6.7.4	Kiintoaine	74
6.7.5	Suurimmat ja pienimmät pitoisuudet	74
6.7.6	Vertailu muiden ojien aikaisempiin tuloksiin	75
7	Hulevesien merkitys Katumajärven kuormituksessa	79
7.1	Katumajärveen laskevien ojien yhteensä tuoma kuorma	79
7.2	Ainevirtaama Rekolaisen mallilla	80
7.3	Ainevirtaama hulevesien mukana	80
7.3.1	10 vuoden kuormituksen laskenta	80
7.3.2	Sulamisvesien osuus koko vuoden ainevirtaamasta	84

7.4	Hulevesien osuus järven kokonaiskuormasta.....	85
7.5	Uusien alueiden vaikutus hulevesikuormitukseen.....	85
8	Hulevesien käsittelysuunnitelma Harvoilanmäelle	86
8.1	Harvoilanmäen asuntomessualue	86
8.2	Hulevesien käsittelysuunnitelma	87
8.3	Mitoitusvesimäärä	88
8.4	Altaan ja kosteikon pinta-alat.....	89
8.4.1	Pinta-alat valuma-alueen koon mukaan	89
8.4.2	Laskeutusaltaan pinta-ala maa-aineksen laskeutumisnopeuden perusteella	90
8.5	Altaan ja kosteikon rakenne	91
9	Yhteenveto.....	93
	Lähdeluettelo	97
Liite 1	Sulantakauden ainepitoisuudet virtaaman funktiona.....	102
Liite 2	Kesäajan ainepitoisuudet virtaaman funktiona.....	103

Kuvaluettelo

Kuva 1. Hydrologinen kierto luonnontilaisella ja rakennetulla alueella (CWP 2000).....	8
Kuva 2. Hämeenlinnan kaupunki ja Katumajärvi	38
Kuva 3. Katumajärven sadevesiviemäroidyt valuma-alueet	38
Kuva 4. Idänpään sadevesiviemäristö purkautuu Rauhalanojaan maaliskuussa 2004	41
Kuva 5. Rauhalanojan valuma-alue.....	42
Kuva 6. Virtaaman mittalaitteen tiedonkeruuyksikkö sadevesikaivossa	43
Kuva 7. Maaliskuun vuorokausien keskilämpötilat Ilmatieteen laitoksen mukaan	46
Kuva 8. Maaliskuun sadanta Ilmatieteen laitoksen vuorokausiarvojen mukaan.....	46
Kuva 9. Huhtikuun vuorokausien keskilämpötilat Ilmatieteen laitoksen mukaan	47
Kuva 10. Huhtikuun sadanta Ilmatieteen laitoksen vuorokausiarvojen mukaan	48
Kuva 11. Toukokuun vuorokausien keskilämpötilat Ilmatieteen laitoksen mukaan.....	48
Kuva 12. Toukokuun sadanta Ilmatieteen laitoksen vuorokausiarvojen mukaan	49
Kuva 13. Kesäkuun vuorokausien keskilämpötilat Ilmatieteen laitoksen mukaan	49
Kuva 14. Kesäkuun vuorokausisadannat Ilmatieteen laitoksen mukaan.....	50
Kuva 15. Heinäkuun vuorokausien keskilämpötilat Ilmatieteen laitoksen mukaan.....	51
Kuva 16. Heinäkuun vuorokausisadannat Ilmatieteen laitoksen mukaan	51
Kuva 17. Auringon säteilytehon vuorokausiarvojen keskiarvot, minimi ja maksimit kuukausittain maaliskuusta heinäkuuhun	52
Kuva 18. Kevään mittausajan virtaamat sadevesikaivossa (n=2301)	53
Kuva 19. Virtaamien minimi ja maksimi vuorokausittain	54
Kuva 20. Sulanta-ajan virtaamien jakauma.....	54
Kuva 21. Virtaaman minimien ja maksimien esiintyminen kellonajan mukaan.....	55
Kuva 22. Sulanta-ajan virtaamien summakäyrä.....	55
Kuva 23. Virtaaman ja vesisyvyyden välinen yhteys (n=2301).....	57
Kuva 24. Virtaama lämpötilan funktiona ($r=0,56$).....	58
Kuva 25. Valuntahuiput ja lämpötilat	59
Kuva 26. HBV-mallin varastot ja niiden väliset valunnat.....	60
Kuva 27. Mitattu ja laskettu valunta 26.3.04-19.4.04	66
Kuva 28. Ainevirtaaman ja valunnan vaihtelu vuosittain 1994-2003 (1994 = 100)	84
Kuva 29. Asuntomessualueen raja- ja Harvoilanmäelle kaavoitetut tonttialueet.....	87

Taulukkoluetelo

Taulukko 1. Sulan ajan ainepitoisuuksien painotetut keskiarvot Pakilan pientaloalueella Melasen (1982) mukaan	11
Taulukko 2. Sulan kauden suositellut pitoisuudet Melasen mukaan.....	11
Taulukko 3. RYVE-projektin ainepitoisuudet pientalo- ja kerrostaloalueelle	12
Taulukko 4. Sulanta-ajan painotetut ainepitoisuudet pientaloalueella Melasen (1982) mukaan	14
Taulukko 5. Sulanta-ajan suositellut ainepitoisuudet laskelmia varten Melasen (1982) mukaan	15
Taulukko 6. Kokonaisvaluntakerroin Melasen mukaan.....	17
Taulukko 7. Katumajärven ympäristön sadevesiviemäröidyt alueet.....	39
Taulukko 8. Mallin parametrit.....	66
Taulukko 9. Sulanta-ajan vesinäytteiden ainepitoisuudet Rauhalanojassa	67
Taulukko 10. Sulanta-ajan virtaamien ja ainepitoisuuksien korrelaatiot	70
Taulukko 11. Sulan ajan vesinäytteiden ainepitoisuudet Rauhalanojassa.....	72
Taulukko 12. Sulan ajan suurimmat ja pienimmät ainepitoisuudet esiintymisen mukaan	75
Taulukko 13. Muiden sadevesiojien vesinäytteiden tulokset vuosilta 1992-2004	76
Taulukko 14. Kesäajan Rauhalanojan näytteiden ainepitoisuuksien keskiarvot sateella ja kuivana aikana vuonna 2004	77
Taulukko 15. Rauhalanojan kesän 2004 sateettomien näytteiden ainepitoisuudet verrattuna muutamaan muuhun ojaan	77
Taulukko 16. Katumajärven kokonaistypen, fosfaattifosforin, kokonaisfosforin ja kiintoaineen vuosihuuhtoumat (kg/ha/a) rakennetuilta alueilta	82
Taulukko 17. Kokonaistypen, fosfaatin, kokonaisfosforin ja kiintoaineen ainevirtaamat (kg) rakennetuilta alueilta Katumajärveen vuosina 1994-2003.....	83
Taulukko 18. Maalis- ja huhtikuun ainevirtaaman osuus koko vuoden ainevirtaamasta vuosina 1994-2003	84
Taulukko 19. Ainevirtaama Katumajärveen nykyään ja tulevaisuudessa uusien alueiden rakennuttua	85

1 Johdanto

Kaupungistuneen alueen määrä kasvaa koko ajan, joten kaupunkihydrologialla on yhä suurempi merkitys paitsi vesien hoidon ja kunnossapidon myös vesiensuojelun kannalta. Nykyään yli 80 % suomalaisista asuu vähintään 200 asukkaan taajamassa. Kolmasosa Suomen taajamien pinta-alasta syntyi vuosina 1980–2000 ja samaan aikaan taajamaväestö kasvoi lähes 800 000 asukkaalla (Ristimäki *et al.* 2003).

Hulevesiä eli kaupunkialueiden pintavaluntavesiä pidetään usein puhtaana sadevetenä (Kannala 2001). Tutkimukset ovat kuitenkin osoittaneet, että hulevedet voivat olla merkittävä vesistön kuormittaja. Kaupunkimainen asumismuoto on muuttanut luonnonolosuhteita epäedulliseen suuntaan. Veden kiertokulku ja tasapaino ympäristössä ovat häiriytyneet (Melanen 1982). Kaupungistumisen lisääntyessä taajama-alueiden hydrologian tuntemus tulee entistä tärkeämmäksi. Aikaisemmin ensisijaisena huolenaiheena oli johtaa häiritsevät pintavaluntavedet nopeasti pois kaupunkialueilta vastaanottavaan vesistöön, eikä ympäristöön kohdistuvia vaikutuksia juuri mietitty (US EPA 1999). Hulevesien hallinnalla ymmärrettiin ja ymmärretään edelleen lähinnä tulvien ehkäisemistä, ei laadullista huolehtimista. Enää ei voida ajatella, että hyvää hulevesien hallintaa on vesien nopea johtaminen vesistöön. Hulevedet täytyy nopeasti johtaa pois katualueilta, mutta ne pitäisi pyrkiä ensisijaisesti imeyttämään maaperään sekä hidastaa ja tasata vesistöön kohdistuvia virtaamahuippuja.

Hämeenlinnassa ympäristöviranomaisen tehtävistä huolehtii Hämeenlinnan seudun kansanterveystyön kuntayhtymän ympäristöosasto. Ympäristöosasto vetää EU-rahoitteista järvien suojelu- ja kunnostushanketta ”Kanta-Hämeen järvet kestäväan kehitykseen” eli lyhyemmin JÄRKI. Hanke on käynnissä vuosina 2002–2005 ja se kohdistuu kahdeksan kantahämäläisen järven valuma-alueelle. Hankkeen toimijoita ovat järvien suojeluyhdistykset, jotka yhdessä alueen kuntien, viranomaisten, Hämeen ammattikorkeakoulun, yritysten ja viljelijöiden kanssa pyrkivät pitkäjänteiseen vesiensuojelutoimintaan ja järvien kunnostukseen. Järvistä ainoastaan Katumajärvi sijaitsee Hämeenlinnan kaupungissa. Hankkeen yleistavoitteena on väestön hyvinvoinnin edistäminen ja järvien vedenlaadun parantaminen ja säilyttäminen hyvänä. Yksityiskohtaisia tavoitteita ovat mm. järvien tilan ja kuormituksen selvittäminen,

kuormituksen vähentäminen, ympäristötietoisuuden lisääminen, toteutettujen toimenpiteiden arviointi ja yhteistyön lisääminen eri tahojen välillä. (Jutila 2002)

Katumajärvi on Hämeenlinnan keskustan tuntumassa sijaitseva järvi, jonka valuma-alue on 51 km², pinta-ala on 375 hehtaaria, suurin syvyys 18 metriä ja tilavuus 21,7 milj. m³ (Jutila *et al.* 2003). Järven vedenlaatu on viime aikoina heikentynyt tyydyttäväksi. Se luokitellaan lievästi reheväksi, ja syvänteissä ilmenee happikatoa. Järvellä esiintyy sinileväkukintoja, verkkojen limoittumista ja järvisyyhyä (JÄRKI -hanke 2003). Järveen laskee pohjoisosassa Myllyjoki sekä useita pienempiä ojaia. Myllyjoen ja muiden ojien tuomaa ainevirtaamaa on selvittänyt opinnäytetyössään Salminen (2003). Ojat tuovat tyypeä ja fosforia järveä ympäröiviltä peltoalueilta. Järvi laskee Kutalanjoen kautta Vanajaveteen.

Järven rannalla on asuinalueita, haja-asutusta, neljä virallista uimarantaa ja loma-asutusta. Lisäksi rannalla on kaksi golfkenttää ja järvellä kalastetaan säännöllisesti, joten Katumajärvellä on suuri virkistyskäyttöarvo. Järvi kuuluu Vanajanlaakson kulttuurimaisemaan. Vuonna 2004 Katumajärvellä on suoritettu sedimenttitutkimus ja sen lähivaluma-alueelle on mm. rakennettu laskeutusallas (Jutila 2004). Järveä myös hoitokalastettiin ja niitettiin.

Järven tilaa on seurattu säännöllisesti vuodesta 1965 ja mm. ojien tuomaa ainevirtaamaa on selvitetty (Jutila 1998, Salminen 2003), mutta aikaisemmin hulevesien määriä, laatua tai merkitystä järven kuormitukseen ei ole varsinaisesti tutkittu. Koska hulevedet voivat kaupunkialueilla olla hyvinkin likaisia, katsottiin tarpeelliseksi selvittää niiden tuomia ainemääriä ja vaikutusta järven tilaan. Myös järven ranta-asukkaat ovat kaivanneet tietoa hulevesien vaikutuksista. Hämeenlinnan kantakaupungin sadevedet johdetaan vedenpuhdistamolle, mutta Katumajärven ympäristössä ne kerätään sadevesiviemäreihin ja johdetaan joko järveen laskeviin ojiin tai suoraan järveen. Hämeenlinnassa järjestetään asuntomessut vuonna 2007 ja ranta-alueelle on muutenkin osayleiskaavassa suunnitteilla uusia asuinalueita, joten myös tulevien alueiden aiheuttamaa kuormitusta haluttiin arvioida. Erityisenä kiinnostuksen kohteena on tuleva asuntomessualue, jolle voisi olla mahdollista toteuttaa jokin hulevesiratkaisu.

Työn tavoitteena on selvittää, kuinka suuri kuormittaja rakennetuilta alueilta peräisin oleva hulevesi Katumajärvelle on. Teoriaosuudessa selvitetään ensin sadannan,

valunnan ja ainehuuhtouman teoriaa kaupunkialueilla sekä miten hulevesien aiheuttamia ongelmia voidaan ehkäistä. Soveltavassa osuudessa esitellään virtaaman mittaus- ja näytteenottotoiminta tuloksineen sekä sulamisvalunnan mallinnus konseptuaalisella HBV-mallilla. Hulevesiviemärien tuomaa kuormitusta verrataan ojien tuomaan kuormaan sekä lopuksi laaditaan suunnitelma hulevesien aiheuttamien ongelmien vähentämiseksi.

2 Kaupunkialueen hydrologia

2.1 Määritelmiä

Sadannalla tarkoitetaan tasaiselle pinnalle aikayksikössä satanutta vesimäärää millimetreinä mitattuna.

Valunta määritellään vesitaseyhtälön mukaan sadannan siksi osaksi, joka jää jäljelle kun sadannasta vähennetään haihdunta ja vesivaraston muutos. Varasto voi olla maaperässä, vesistössä, kasvipeitteessä tms. (Hyvärinen 1986). Valunta suuntautuu kohti vesistöjä maan pinnalla, pintakerroksessa tai pohjakerroksessa ja sen yksikkönä käytetään millimetriä aikayksikköä kohti. Samaa tarkoittavat termit valuma, jonka yksikkö on $\text{ls}^{-1}\text{km}^{-2}$, ja virtaama, jonka yksikkö on m^3s^{-1} . Kukin suure kuvaa tietyltä alueelta valuvan veden määrää, mutta eri tarkoituksissa käytetään erilaisia yksiköitä.

Ainevirtaamalla tarkoitetaan tässä työssä hulevesien mukanaan kuljettamaa ainemäärää painoyksikköinä. Ainehuuhtoumalla tarkoitetaan ainevirtaamaa pinta-alaa kohti ilmaistuna.

Sulannalla tarkoitetaan kiinteästä faasista nestemäiseen faasiin siirtynyttä ainemäärää, joka yleensä ilmaistaan syntyneen vesikerroksen paksuutena aikayksikköä kohti, esim. mm/d. Sulannan tarkka määrittäminen edellyttää uudelleenjäätynneen veden määrän ja lumen nestemäisen veden pitoisuuden mittaamista. Pääosa sulannasta tapahtuu iltapäivällä. Lumipeitteen vedentuotto tarkoittaa lumipeitteestä vapautuvan veden määrää, jolla on käytännön sovellutuksissa sulantaa suurempi merkitys (Kuusisto 1986b). Tässä käytetään kuitenkin termiä sulanta kuvaamaan lumen sulamisesta seuraavaa veden vapautumista.

Hulevedelle on olemassa hieman erilaisia määritelmiä riippuen mm. siitä, katsotaanko hulevesiä syntyvän ihmisen toiminnan vaikutuksesta muuallakin kuin kaupunkialueella, kuten maa- tai metsätalousalueilla. RYVE -projektin mukaan hulevedet ovat kaupunkialueiden ja muiden rakennettujen alueiden pintavaluntavettä. Pintakerros- ja pohjavesivalunta jäävät siten määritelmän ulkopuolelle (Kotola ja Nurminen 2003a).

Tässä työssä keskitytään erityisesti pintavalunnan siihen osaan, joka päättyy sadevesiviemäristön kautta vesistöön.

Läpäisemättömyyskerroin kuvaa päällystettyjen eli vettä läpäisemättömien pintojen kuten rakennusten kattojen ja teiden suhdetta koko valuma-alueen pinta-alaan. Läpäisemättömyyskertoimella on suuri merkitys hulevesien likaisuuteen. (Kotola ja Nurminen 2003a)

Välittömällä valunnalla tarkoitetaan sitä osaa sadannasta, joka muodostuu pinta- ja pintakerrosvalunnasta heti sadetapahtuman jälkeen, eikä pidäty interseption, painannesäilynnän eikä imeynnän muodossa. (Kotola ja Nurminen 2003a)

Valuntakerroin kuvaa sitä, kuinka suuri osa sadetapahtuman sadannasta tai sulannasta muodostaa välitöntä valuntaa (Kotola ja Nurminen 2003a). Kokonaisvaluntakerroin C_t määritellään sadetapahtuman synnyttämän välittömän valunnan määrän Q (mm) ja sadetapahtuman sademäärän P (mm) osamääränä eli

$$C_t = Q/P \quad (1)$$

Huipun valuntakerroin määritellään valunnan virtaamahuipun (q_{\max}) ja siihen liittyvän sadehuipun (i_{\max}) osamääränä eli

$$C_p = q_{\max}/i_{\max} \quad (2)$$

(Melanen 1982)

2.2 Suomen ilmasto

Suomen keskisadanta jaksolla 1961...1975 oli noin 660 mm/a (Kuusisto 1986) ja yleensä se vaihtelee 600 ja 700 millimetrin välillä (Ilmatieteen laitos 2003). 1900-luvulla sadannan voidaan otaksua kasvaneen jonkin verran, mutta perusteellisia sadanta-aikasarjoja ei toistaiseksi ole käytettävissä (Hyvärinen ja Korhonen 2003). Etelä-Suomessa sadannasta noin 60 % haihtuu takaisin ilmakehään joko suoraan erilaisilta pinnoilta tai maaperästä kasvien elintoimintojen kautta. Haihdunta on suurinta kesällä, kun auringon säteilyenergiaa on runsaasti saatavilla. Lumen osuus vuosittain satavasta vedestä on Etelä-Suomessa 30–40 % (Kuusisto 1986).

Etelä-Suomessa vuosivalunta maa-alueilta on noin 200–300 mm. Suurimmat valunnat esiintyvät keväällä lumien sulaessa sekä syyssateiden yhteydessä, kun haihdunta samalla vähenee. Kesällä valunta on vähäistä johtuen haihdunnan suuresta määrästä. Talvellakin valunta on vähäistä. (Hyvärinen 1986)

Kevätvalunta aiheutuu lumien sulamisesta ja sulamiskauden sadannasta. Se on maan eteläosissa keskimäärin 100–120 mm. Kesävalunta on Etelä-Suomessa 10–20 mm ja syysvalunta 50–100 mm. Talvivalunta on Etelä-Suomessa alle 50 mm. (Hyvärinen 1986)

Lumen maksimivesiarvo on Etelä-Suomessa yleensä 80–140 mm, joka vastaa neliömetrillä 80–140 kg lunta (Kuusisto 1986b). Vuonna 2000 lumen vesi-arvo 16.3. oli Hämeessä 81–130 mm (Hyvärinen ja Korhonen 2003).

2.3 Suomalaisia hulevesitutkimuksia

Suomessa hulevesiä tutkittiin perusteellisesti vuosina 1977–1979 Valtakunnallisessa hulevesitutkimuksessa. Tutkimuksessa selvitettiin hulevesien laatua ja määrää seitsemällä kaupunkialueella, jotka sijaitsivat neljässä kaupungissa eri puolilla Suomea: Helsingissä, Tampereella, Oulussa ja Kajaanissa. Alueet pyrkivät edustamaan erilaisia maankäyttötapoja, toimintoja ja ilmasto-olosuhteita. Tutkimusalueiden alin läpäisemättömyyskerroin oli 0,29 Helsingissä Pakilan pientaloalueella ja suurin kerroin oli 0,67 Tampereen keskustassa Hämeenpuistossa. Kaikilla alueilla oli erillinen viemäröinti hulevesiä varten. (Melanen 1982)

Vuonna 2003 päättyi Kaupunkivedet ja niiden hallinta eli RYVE -projekti, joka toteutettiin yhteistyössä Teknillisen korkeakoulun vesitalouden laboratorion, Helsingin yliopiston, Suomen ympäristökeskuksen ja Espoon ja Helsingin kaupunkien kanssa. Osana projektia tutkittiin hulevesivalunnan muodostumista ja ainepitoisuuksia kolmella koalueella Espoossa. Yksi alue oli pientaloalue, toinen kerrostaloalue ja kolmas vasta rakenteilla. (Kotola ja Nurminen 2003b)

Vaasassa tutkittiin keskusta-alueen hulevesiä kolmella valuma-alueella, kokeiltiin erilaisia hulevesien käsittelymenetelmiä ja tutkittiin niiden hyvyttä (Kannala 2001).

Lisäksi Vaasan keskusta-alueelle tehtiin hulevesien hallintasuunnitelma (Loukkaanhuhta 2001).

2.4 Rakennetun alueen hydrologian erityispiirteitä

2.4.1 Sadanta ja haihdunta rakennetulla alueella

Kaupunkialueella sadanta voi olla ympäristön sadantaa suurempi. Kaupunki-ilmassa on runsaasti erilaisia hiukkasia, jotka toimivat tiivistymispisteinä. Koska kaupunki on usein ympäristöään lämpimämpi, ilman kohoaminen aiheuttaa konvektiivisia sateita. Lisäksi kaupunkirakenne aiheuttaa ilman pyörteisyyttä, mikä lisää sateen todennäköisyyttä (Heino 1978, Kotolan ja Nurminen 2003a mukaan). Kaupunkien sademäärien on havaittu keskimäärin lisääntyneen 10 % ja myös sadepäiviä on ympäröivää maaseutua enemmän (Kotola ja Nurminen 2003a).

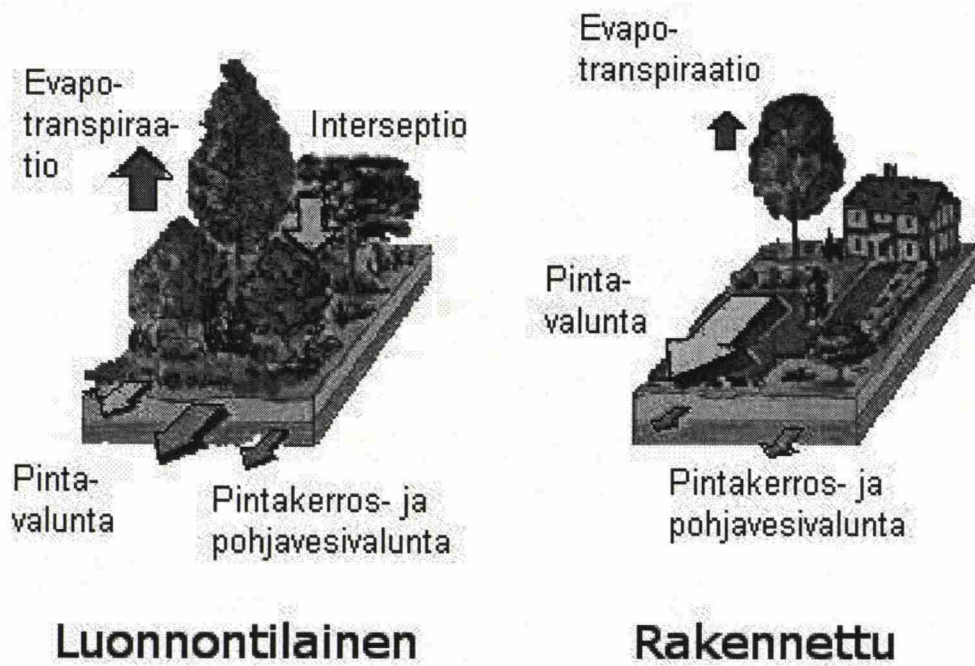
Yleensä kaupunkialueilla haihdunta on vähäistä, koska vedet johdetaan nopeasti hulevesiviemäriin ennen kuin ne ehtivät haihtua (Hogland 1986, Kotolan ja Nurminen 2003a mukaan). Toisaalta on havaittu, että kaupunkien kohonnut lämpötila voi myös lisätä haihduntaa, mikäli vettä on riittävästi saatavilla (Kotola ja Nurminen 2003a).

2.4.2 Valunta rakennetulla alueella

Sadantatapahtumat seuraukset kaupunkialueella poikkeavat oleellisesti seurauksilta luonnontilaisella alueella. Luonnossa kasvien lehdet pidättävät osan sadevedestä. Tätä kutsutaan interseptioksi, ja lehdille pidähtynyt vesi pääsee haihtumaan takaisin ilmakehään. Lisäksi vesi pääsee imeytymään suoraan maa- ja pohjavesivarastoon ja vain pieni osa sataneesta vedestä jää pintavalunnaksi. Yleensä luonnossa pintavaluntaa esiintyy ainoastaan pitkäkestoisten tai poikkeuksellisen rankkojen sateiden yhteydessä.

Kaupungistuneen alueen ominaisuuksiin kuuluu suuri rakennettujen ja siten vettä läpäisemättömien pintojen määrä. Läpäisemättömiä alueita ovat mm. rakennukset asfaltoituine pihoineen, pysäköintialueet, tiet ja kadut. Rakennetulla alueella on luonnontilaista aluetta vähemmän kasvillisuutta, joka pidättäisi vettä, ja päällystetyt pinnat estävät veden imeytymisen maaperään. Kaupunkioiloissa haihtumista ei myöskään juuri ehdi tapahtua, koska vesi johdetaan nopeasti pois katualueilta

viemäriin. Siten sadetapahtumat aiheuttavat herkästi pintavaluntaa. Pintavalunta kaupunkialueilla on selvästi suurempi kuin luonnontilaisella alueella samalla kun pintakerros- ja pohjavesivalunta ovat pieniä luonnontilaiseen alueeseen verrattuna. Päälystettyjä, tasaisia pintoja pitkin virtaava vesi etenee nopeasti, joten virtaamahuippu ojassa, viemäristössä tms. vettä kuljettavassa järjestelmässä ilmenee nopeammin ja voimakkaampana kuin luonnontilaisella alueella. (Kotola ja Nurminen 2003a)



Kuva 1. Hydrologinen kierto luonnontilaisella ja rakennetulla alueella (CWP 2000)

Valtakunnallisessa hulevesitutkimuksessa hulevesivirtaama mitattiin sulalla kaudella jatkuvatoimisesti sadevesiviemärin purkukohdassa sijaitsevassa kaivossa.

Valuntamittausten ja sadantahavaintojen perusteella määritettiin sadantavaluntatapahtumien valuntakertoimet. Valuntakertoimien keskiarvot vaihtelivat välillä 0,098 (pientaloalue Pakilassa)-0,392 (keskusta-alue Tampereella) Valuntakertoimet vaihtelivat sekä valuma-alueiden välillä että niiden sisällä eri sadetapahtumien yhteydessä. Vaihtelua selittäviä tekijöitä olivat mm. sateen kesto ja keskirankkuus, edeltävän kuivan kauden pituus, vuorokauden keskilämpötila ja päälystettyjen pintojen osuus. Kokonaisvaluntakertoimen ja huippuvaluntakertoimen suuruusluokan määräsi selvästi alueen läpäisemättömien pintojen osuus (Melanen 1982). Tutkimuksessa

havaittiin myös, että välitöntä valuntaa muodostavaa pinta-alaa on noin 50–80 % päällystettyjen pintojen alasta asuntoalueilla (Melanen ja Laukkanen 1981). Lisäksi tutkimuksessa havainnoitiin ilmaperäistä laskeumaa kullakin kohdealueella laskeumakeräimellä (Melanen 1982).

RYVE -tutkimuksessa virtaamia mitattiin joko sadevesikaivosta tai mittapadolla ojasta, johon sadevesiviemärit purkautuvat. Tutkimuksessa havaittiin valuntakertoimen vaihtelevan suuresti. Keskimäärin se oli rakenteilla olevalla alueella 0,01, pientaloalueella 0,04 ja kerrostaloalueella 0,18. Valtakunnallisen hulevesitutkimuksen ja omien havaintojen perusteella RYVE:ssä todettiin valuntakertoimen olevan keskimäärin noin puolet läpäisemättömyyskertoimesta. (Kotola ja Nurminen 2003b)

2.5 Aineiden huuhtoutuminen rakennetulla alueella

2.5.1 Sadannan aiheuttama huuhtouma

Kaupunkialueella sadannan tai sulannan seurauksena syntyvä virtaava vesi huuhtelee mukaansa kaduilta, katoilta ja muilta vastaavilta pinnoilta niille kertyneet liat, jotka sadevesiviemäristön kautta päätyvät nopeasti vastaanottavaan vesistöön. Center for Watershed Protectionin (2000) mukaan tyypillisiä hulevesien sisältämiä aineita kaupungeissa ja teollisuusalueilla ovat suspendoitunut kiintoaine ja sedimentti, ravinteet (typpi ja fosfori), metallit (kupari, sinkki, lyijy, kadmium), öljyt ja rasvat (polyaromaattiset hiilivedyt, PAH), bakteerit, pestisidit ja herbisidit. Lisäksi ongelmaksi voidaan katsoa huleveden kesäaikainen lämpötilan kohoamisen sen virratessa lämmenteillä katoilla ja tiealueilla (CWP 2000, US EPA 1999).

Kotolan ja Nurmisen (2003a) eri lähteistä kokoaman taulukon mukaan orgaanista ainetta tulee hulevesiin liikenteestä, typpeä laskeumasta, fosforia laskeumasta ja eläinten jätöksistä sekä sinkkiä ja kuparia rakennusmateriaalien korroosiosta, eroosiosta ja laskeumasta. Bakteereja ja viruksia kulkeutuu hulevesiin lemmikkieläinten jätöksistä. Lyijyn aiheuttama kuormitus pieneni siirryttäessä lyijyttömään bensiiniin (Malmqvist 1983, Statens Naturvårdsverket 1983, Svensson & Malmqvist 1995, Kotolan ja Nurmisen 2003a mukaan). Kiintoainetta kulkeutuu hulevesiin eroosion myötä rakennustyömailta, teiltä ja kaduilta. Lisäksi vesiin kulkeutuu lasia, kumia ja ruostetta

(Ferguson 1998, Kotolan ja Nurmisen 2003a mukaan). Useimmat huleveden epäpuhtaudet ovat kiinnittyneinä vedessä oleviin partikkeleihin, varsinkin jos $\text{pH} > 7$ (Dempsey *et al.* 1993, Kotolan ja Nurmisen 2003a mukaan).

Kiintoaine koostuu sekä orgaanisista että epäorgaanisista komponenteista. Se voidaan jakaa myös liuenneisiin aineisiin (dissolved matter) mukaan lukien dispersoitunut liukenematon aines kolloidi- ja semikolloidimuodossa sekä suspendoituneisiin aineisiin. Suurin osa kiintoaineesta on peräisin eroosiosta ja korroosiosta (hiekkä, kuluva tien päällyste yms.) ja osa kiintoaineesta on peräisin laskeumasta. Valtakunnallisessa hulevesitutkimuksessa ilmalaskeuman osuus kiintoaineen määrästä oli noin 1/5. (Melanen 1981)

Kemiallisen hapenkulutuksen määrä kertoo epäsuorasti orgaanisen aineksen määrästä. Orgaanisen aineksen lähteitä ovat kasvillisuudesta ja maaperästä peräisin oleva siitepöly ja siemenet, ihmisen toiminnan seurauksista noki, terva ja hiilivedyt. Muita lähteitä ovat orgaaninen jäte, eläinten jätökset, kasvit (vegetable matter), ajoneuvojen päästöt ja eloperäisen maaperän eroosio. (Melanen 1981)

Fosforia päätyy hulevesiin ilmaperäisen laskeuman seurauksena sekä kasvillisuudesta kasvukauden aikana. Muita lähteitä ovat ruoantähteet, eläinten jätökset ja lannoitteina käytetyt fosfaatit. Ilmaperäinen laskeuma muodosti valtakunnallisessa hulevesitutkimuksessa neljäsosan kokonaisfosforikuormasta. (Melanen 1981)

Typen oksideja päätyy ilmakehään liikenteen ja lämmityksen seurauksena, ja kokonaistypen laskeuma riippuu voimakkaasti sadannan määrästä. Ilmaperäisen laskeuman osuus hulevesien typpipitoisuuksista oli 1/2 kasvukaudella ja 2/3 koko vuoden aikana. (Melanen 1981)

Valtakunnallisessa hulevesitutkimuksessa vesinäytteitä otettiin virtaaman mittauspaiikasta automaattisella näytteenottimella. Tutkitut näytteet olivat virtaamaan verrannollisista osanäytteistä yhdistettyjä kokoomanäytteitä siten, että kutakin sadantavaluntatapahtumaa edusti yksi kokoomanäyte. Sulamisvesinäytteet edustivat keskimäärin näytteenottovuorokauden aikaista sulamisvaluntaa. Näytteistä tutkittiin lähes 30 fysikaalista, kemiallista ja biokemiallista parametria. Yleensä huuhtouma oli sitä suurempi, mitä suurempi osuus alueesta oli päällystetty. Taulukossa 1 on esitetty

Pakilan pientaloalueen (rakennettua alaa 29 %) sulan kauden virtaamilla painotetut pitoisuuksien keskiarvot. (Melanen 1982)

Taulukko 1. Sulan ajan ainepitoisuuksien painotetut keskiarvot Pakilan pientaloalueella Melasen (1982) mukaan

	Pitoisuus (mg/l)
Kokonaisfosfori	0,25
Kokonaistyyppi	1,6
Kiintoaine	200

Hulevesien laadulle on Melasen (1982) mukaan ominaista voimakas vaihtelu sekä alueiden välillä että niiden sisällä riippuen aluetyypistä ja hydrometeorologisista tekijöistä kuten edeltävästä sateettomasta ajasta. Laatuparametrien keskihajonnat olivat luokkaa 50–100% aritmeettisista keskiarvoista. (Melanen 1982)

Taulukossa 2 on esitetty havaintoihin perustuvat eri aineiden suositellut pitoisuudet taajama-alueiden sulan kauden hulevesien laatua koskevissa laskelmissa. (Melanen 1982)

Taulukko 2. Sulan kauden suositellut pitoisuudet Melasen mukaan

	Esikaupunkialue	Keskusta-alue	Liikennealue	Teollisuusalue
Kokonaisfosfori (mg/l)	0,2...0,3	0,3...0,4	0,3...0,4	0,4...0,5
Kokonaistyyppi (mg/l)	1,5...2,0	1,5...2,5	1,5...2,5	1,5...2,5
Kiintoaine (mg/l)	90...200	200...250	250...350	300...500

Vaasan keskusta-alueella parikymmentä vuotta myöhemmin tehdyssä tutkimuksessa (Kannala 2001) ainehuuhtoumat olivat yleensä valtakunnallisessa hulevesitutkimuksessa saatujen arvojen välissä. Poikkeuksena oli lyijy, jonka pitoisuus oli selvästi vähentynyt 20 vuodessa johtuen lyijyttömän bensiinin käyttöön otosta. (Kannala 2001)

RYVE-projektissa tutkittiin hulevesien ainevirtaamia kolmessa espoolaisessa kohteessa (Kotola ja Nurminen 2003b). Pientalo- ja kerrostaloalueelle saatiin taulukon 3 mukaiset keskimääräiset pitoisuudet koko tutkimusjaksolle, jonka pituus oli noin yksi vuosi (6/2001-9/2002).

RYVE -tutkimuksen arvot eivät ole suoraan vertailukelpoisia valtakunnallisen hulevesitutkimuksen arvoihin, sillä taulukon 3 arvot edustavat koko vuoden näytteitä, kun taas valtakunnallisessa hulevesitutkimuksessa on eroteltu sulantakausi ja sula kausi. Voidaan kuitenkin todeta, että RYVE -tutkimuksessa Laaksoalahden pientaloalueelle saadut vuosikeskiarvot ovat alhaisempia kuin valtakunnallisen hulevesitutkimuksen sekä kevään että kesän arvot Pakilan pientaloalueelle. Tämä selittyy Laaksoalahden Pakilaa alhaisemmalla läpäisemättömyysprosentilla, joka Laaksoalahdelle on 20 ja Pakilalle 29.

Taulukko 3. RYVE-projektin ainepitoisuudet pientalo- ja kerrostaloalueelle

	Pientaloalue	Kerrostaloalue
Kokonaisfosfori (mg/l)	0,08	0,1
Kokonaistyyppi (mg/l)	1,4	2,1
Kiintoaine (mg/l)	34	53

Yhdysvalloissa oli vuosina 1978–1983 käynnissä NURP-projekti (Nationwide Urban Runoff Program), jota veti U.S. Environmental Protection Agency (US EPA).

Tutkimuksessa havaittiin kiintoaineen mediaanikonsentraatioksi asuinalueella 101 mg/l, kokonaisfosforipitoisuudeksi 0,38 mg/l ja kokonaistyyppipitoisuudeksi 1,9 mg/l. (US EPA 1999)

Erityisen suurta hulevesikuormitusta aiheuttavia alueita (stormwater hot spots) ovat Center for Watershed Protectionin (2000) mukaan esimerkiksi bensiiniasemat ja pysäköintialueet, ja ne edellyttävät erityisiä toimenpiteitä hulevesien käsittelyssä.

Raskasmetalli- ja hiilivetypitoisuudet hulevesissä voivat tällaisilla alueilla olla jopa 5-10-kertaisia tavalliseen kaupunkiympäristöön verrattuna.

Usein huleveden laatu on huonoimmillaan sadetapahtuman alussa (Kotola ja Nurminen 2003a). Alkuhuuhtouman käsite on peräisin 1970-luvun alusta. Ilmiön katsotaan johtuvan siitä, että sade huuhtoo erilaisille pinnoille sadetta edeltävänä kuivana aikana kertyneen lian (Chang 1990). Ilmiö havaittiin myös valtakunnallisessa hulevesitutkimuksessa (Melanen 1981) ja siitä tuli Changin mukaan sääntö hulevesikäsittelemenetelmien suunnittelulle. Säännön mukaan riitti, kun järjestelmä käsitteli ensimmäiset puoli tuumaa (13 mm) sateesta, koska se sisälsi 90 % ainevirtaamasta (Chang 1990). Sitten ilmiötä on tutkittu huolellisemmin ja esimerkiksi Changin (1990) tutkimukset osoittivat, että ilmiö voidaan havaita, kun läpäisemättömyys alaa on runsaasti, mutta kun läpäisemättömyyskerroin on pieni (5-30 %), ilmiötä ei esiinny. Sedimentillä tai bakteereilla ilmiötä ei havaittu lainkaan (Chang 1990).

2.5.2 Sulannan aiheuttama huuhtouma

Suomen olosuhteissa lumi on tärkeä hydrologisen kierron kannalta. Lumen sulamisesta ja sulantakauden sadannasta aiheutuva kevätvalunta on Suomessa 40–60% koko vuosivalunnasta (Hyvärinen 1986). Kaupungissa lumen sulaminen alkaa aikaisemmin ja on nopeampaa kuin maaseudulla.

Kaupungin lumien sulaminen voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen: 1) lumen sulanta päällystetyiltä pinnoilta auringon lämmön seurauksena, 2) katujen varsille auratun lumen sulanta ja 3) päällystämättömien alueiden lumen sulaminen. Vaihe 1) on lyhyt ja toistuu monta kertaa talven aikana. Vaihe 3) on voimakkaimmillaan sulantakauden lopussa, ja siihen voi liittyä suuria valuntoja varsinkin jos vesisade kiihdyttää sulantaa. Vaihe 2) sijoittuu näiden kahden väliin kestoaltaan ja valunnaltaan. Vaiheet 2 ja 3 voivat kestää useita viikkoja. (Oberts 1994)

Talven aikana lumeen kerääntyy lika-aineita useilla eri tavoilla. Lumi kerää pudotessaan ilmasta sekä partikkelimuotoisia että aerosolimaisia lika-aineita (Colbeek 1981, Oberts 1994 mukaan). Lisäksi lumeen kertyy likaa ilmalaskeumasta ja ajoneuvoista, ja lumien sulaessa lika joutuu hulevesiin. Lumen likaisuuden on havaittu korreloivan liikenteen määrän kanssa. (Viklander 1999b, Kotolan ja Nurmisen 2003a mukaan)

Sulannan alkuvaiheessa sulamisvesissä on pääasiassa liuenneita yhdisteitä, ja loppua kohti kiintoaineksen osuus kasvaa. Lisäksi virtaavat sulamisvedet huuhtovat mukaansa pinnoilta lika-aineita. (Oberts 1994)

Melassen (1982) mukaan pienillä valuma-alueilla sulamisvalunnan määrät eivät muodostu kriittisiksi hulevesiviemärien mitoittamista ajatellen johtuen lumen poiskuljetuksesta alueilta. Sulamisvalunnan määrä voidaan laskea käyttäen keskimääräistä lumen vesiärvon maksimia. (Melanen 1982)

Kaupunkialueella sulanta voi aiheuttaa suuren osan koko vuoden ainehuuhtoumasta. Keskusta-alueilla sulantakauden aikainen vedenlaatu on sulan ajan vedenlaatua heikompi ja sulamisvalunnan osuus koko vuoden ainehuuhtoumasta vaihteli eri aineilla välillä 5-79 % ollen suuruusluokaltaan tyypelle 1/4...1/2 ja kiintoaineelle ja fosforille 1/5...1/3 (Melanen 1982). Jos päällystettyä alaa on alle 40 %, sulan kauden pitoisuudet ovat yleensä sulanta-aikaa suuremmat paitsi typen osalta, jolla kevään pitoisuudet ovat yleensä kesää suuremmat (Kotola ja Nurminen 2003b).

Taulukossa 4 on esitetty valtakunnallisen hulevesitutkimuksen sulanta-ajan virtaamilla painotetut ainepitoisuuksien keskiarvot Pakilan pientaloalueella (Melanen 1982).

Taulukossa 5 on esitetty valtakunnallisen hulevesitutkimuksen havaintoihin perustuvat keskiarvot, joita suositellaan käytettäväksi sulanta-ajan hulevesien laatua koskevissa laskelmissa. (Melanen 1982)

Taulukko 4. Sulanta-ajan painotetut ainepitoisuudet pientaloalueella Melasen (1982) mukaan

Aine	Pitoisuus (mg/l)
Kokonaisfosfori	0,22
Kokonaistyyppi	3,7
Kiintoaine	50

Taulukko 5. Sulanta-ajan suositellut ainepitoisuudet laskelmia varten Melasen (1982) mukaan

	Esikaupunkialue	Keskusta-alue	Liikennealue	Teollisuusalue
Kokonaisfosfori (mg/l)	0,2...0,4	0,4...1,2	0,3...0,5	0,4...0,6
Kokonaistyyppi (mg/l)	3...4	3...6	3...5	3...5
Kiintoaine (mg/l)	50...150	300...700	250...350	300...500

2.6 Hulevesien aiheuttamat ongelmat

Kaupungistumisen vaikutukset vesiympäristöön voidaan Center for Watershed Protectionin (CWP 2000) mukaan jakaa neljään osaan:

- vaikutukset hydrologiaan
- vaikutukset geomorfologiaan
- vaikutukset veden laatuun
- vaikutukset habitaatteihin

Hydrologiset muutokset liittyvät vesitasapainon ja veden kiertokulun järkkymiseen, kasvaneisiin tulvahuippuihin, lisääntyneeseen hulevesivirtaamaan, tulvien lisääntymiseen ja kuivan ajan alivalumien alenemiseen. Geomorfologisiin muutoksiin kuuluu uomien leveneminen ja eroosio, kalojen liikkumisen vaikeutuminen, habitaattien tilan huononeminen ja uoman pysyvyyden aleneminen. Veden laatuun liittyviä muutoksia ovat hulevesien korkea lämpötila ja saasteiden suuri määrä. Habitaattien tila huononee johtuen puskurivyöhykkeiden katoamisesta, kalaasteiden rakentamisesta ja lisääntyneestä levien kasvusta. Lisäksi kaupunkijoista usein puuttuvat veteen kaatuneet puunrungot, jotka tarjoavat suojaa eliöille ja pidättävät sedimenttiä, ravinteita ja hiiltä. Habitaattien tilan huononemisesta taas seuraa kalojen ja kasvien biodiversiteetin aleneminen (CWP 2000). Lisäksi likaiset hulevedet aiheuttavat esteettisiä ongelmia (US EPA 1999).

Jokiluonnon kannalta suurimpia ongelmia on ollut uomien betonointi tai johtaminen maan alle. Tällä on pyritty ehkäisemään tulvimista ja hallitsemaan jokiluontoa, mutta

samalla on tuhottu uomien luonnollinen eliöstö. Nykysuuntauksena onkin uomien ennallistaminen.

CWP (2000) jaottelee valuma-alueet niiden rakennetun alan osuuden mukaan seuraavasti:

- < 10 % herkkä tasapaino
- 10-25 % vaikutukset näkyvät
- > 25% uoma kestäättömässä tilassa

Kun rakennettua alaa on alle 10 %, joen vedenlaatu pysyy hyvänä, kaladiversiteetti on runsas ja uoman reunat ovat stabiilit. Kun rakennetun alan osuus on välillä 10-25 %, rakentamisen vaikutukset alkavat näkyä ja ojan tila alkaa huonontua. Vedenlaatu huononee ja eliölajit vähenevät. Jos rakennettua alaa on yli 25 %, uoma on kestäättömässä tilassa. Biodiversiteetti on kehno ja vedenlaatu huono.

Hulevesien vaikutukset voidaan jakaa myös niiden ajallisen esiintymisen mukaan. US EPA (1999) jakaa hulevesien vaikutuksen kolmeen luokkaan:

- lyhytaikaiset vaikutukset sateen aikana ja heti sen jälkeen kun ainepitoisuudet ovat kohonneita
- pitkän ajan vaikutukset saasteiden kertyessä vesistöön
- fysikaaliset vaikutukset, jotka johtuvat virtaaman suuruudesta, kuten eroosio

Vesistöön kulkeutuva kiintoaine lisää sameutta ja estää auringon valon tunkeutumisen veteen vaikeuttaen vesikasvien kasvua. Kiintoaine sedimentoituu pohjalle madaltaen vesistöä ja häiriten pohjan elämää. Lisäksi kiintoaine kuljettaa mukanaan ravinteita ja metalleja (US EPA 1999), jotka voivat vapautua järveen. Ravinteet lisäävät primaarituotantoa ja aiheuttavat leväkukintoja. Levien hajotus taas kuluttaa happea vedestä (US EPA 1999). Orgaanisten aineiden hajottaminen kuluttaa happea ja veden pinnalle muodostuva öljykalvo vaikeuttaa veden hapettumista. Metallit vähentävät eliöiden vastustus- ja lisääntymiskykyä sekä aiheuttavat käytöshäiriöitä. Öljyt kuluttavat happea ja bakteerit aiheuttavat tautivaaran (Ferguson 1998, Kotolan ja Nurmisen 2003a mukaan). Herkimvät kalat kuten lohet eivät viihdy liian lämpimässä vedessä (US EPA 1999).

2.7 Hulevesivalunnan määrän arvioiminen

Kaupunkialueelle satavalla vesipisaralla on monia mahdollisia reittejä. Vettä läpäisemättömälle pinnalle kuten kadulle tai katolle satanut vesipisara voi jäädä sille ja haihtua. Se voi myös valua esimerkiksi läheiselle nurmikolle ja imeytyä, tai se voi valua sadevesiviemäriin. Vettä läpäisevälle alueelle satava vesi voi imeytyä tai haihtua tai myös valua sadevesiviemäriin. Osa vedestä voi valua pintavaluntana ojiin ja niiden kautta vesistöön. Siten kaikki kaupunkialueelle satava vesi ei virtaa sadevesiviemärien kautta vesistöön.

Hulevettä muodostavaa pintaa kutsutaan ns. tehoisaksi läpäisemättömäksi pinnaksi ja sen osuus on 50-80 % asuntoalueiden läpäisemättömästä alasta (Melanen 1982). Valunnan muodostumista kaupunkialueella on selvittänyt diplomityössään Nora Metsäranta (2003).

Yksinkertaisimmillaan huleveden ylivirtaama voidaan arvioida kaavalla

$$Q = C \cdot i \cdot A \quad (3)$$

missä Q on hulevesivirtaama (m³ aikayksikössä), C = valuntakerroin (-), i sateen määrä (m aikayksikössä) ja A valuma-alueen ala (m²). Kaava sopii parhaiten pienille valuma-alueille virtaamahuipun arviointiin.

Taulukossa 6 on esitetty Melasen (1982) valtakunnallisen hulevesitutkimuksen mukaiset kokonaisvaluntakertoimen keskimääräiset alueelliset arvot.

Taulukko 6. Kokonaisvaluntakerroin Melasen mukaan

Maankäyttö	Kokonaisvaluntakerroin	
	Tasainen alue	Kalteva alue
Pien- ja kerrostaloalueet, alhainen rakennustehokkuus	0,05...0,15	0,10...0,20
Kerrostaloalueet, keskimääräinen ja korkea rakennustehokkuus	0,20...0,30	0,30...0,40
Teollisuusalueet	0,20...0,50	0,30...0,60
Keskusta-alueet	0,40...0,70	0,50...0,80

Melanen (1982) esittää valtakunnallisen hulevesitutkimuksen tulosten perusteella, että sadetapahtuman kokonaisvaluntakerroin omakoti- ja rivitaloalueilla sekä alhaisen rakennustehokkuuden kerrostaloalueilla (rakennettua alaa 10–30 %) voidaan laskea kaavalla

$$C_t = (0,5 \dots 0,6) \cdot p_p \quad (4)$$

missä p_p on rakennetun pinta-alan osuus. Rakennettuun alaan lasketaan kaikki katetut pinnat riippumatta siitä, ovatko ne suoraan viemäriverkkoon yhdistettyjä (Melanen 1982). Alempia kertoimen arvoja käytetään tasaisella alueella tai jos päällystetty osuus on siten rakennettu, että vain osa valunnasta joutuu viemäriverkkoon.

Kokonaisvaluntakertoimen avulla voidaan Melanen ja Laukkasen (1981) mukaan määrittää sadetapahtuman aiheuttaman välittömän valunnan keskimääräinen suuruus.

Läpäisemättömän pinta-alan osuus p_p määritellään valuma-alueen rakennetun pinta-alan ja valuma-alueen koko pinta-alan osamääränä

$$p_p = A_{\text{rakennettua}} / A_{\text{koko}} \quad (5)$$

Tällöin kokonaisvaluntakertoimeksi saadaan siis

$$C_t = (0,5 \dots 0,6) \cdot p_p = (0,5 \dots 0,6) \cdot A_{\text{rakennettua}} / A_{\text{koko}} \quad (6)$$

Huippuvaluntakerroin C_p saadaan vastaavasti kaavalla

$$C_p = (0,2 \dots 0,3) \cdot p_p \quad (7)$$

3 Hulevesien käsittelymenetelmiä

3.1 Yleistä

Hulevedet tulee turvallisuuden ja viihtyisyyden aiheuttamien vaatimusten vuoksi johtaa nopeasti pois katualueilta, mutta niiden virtaamaa vastaanottavaan vesistöön tulisi hidastaa ja viivyttää mahdollisimman paljon imeyttämällä vettä maaperään tai varastoimalla sitä altaisiin, josta se hitaasti purkautuu vastaanottavaan uomaan. Optimaalinen hulevesien käsittelymenetelmä ehkäisee sekä määrällisiä että laadullisia hulevesistä aiheutuvia negatiivisia vaikutuksia. Ideaalinen ratkaisu on sellainen, jossa pidetään yllä maaperän imeyntäkykyä ja sitä kautta luonnollista hydrologista kiertoa kaupungistuvalla alueella myös rakentamisen jälkeen. Uusille alueilla suunniteltavat ratkaisut olisi pyrittävä toteuttamaan niin, että virtaamat ja ainepitoisuudet ennen ja jälkeen rakentamisen ovat yhtä suuret. (Cahill 1994, US EPA 1999)

Hulevesien käsittelyllä ja taajama-alueiden pienvesistöjen kunnostuksella voidaan parantaa olemassa olevia vesistöjä sekä saada aikaan ympäristöä monipuolistavia vesi- ja kosteikkoalueita, jotka parantavat viihtyisyyttä, lisäävät arvostusta ja lisäävät kaupunkiluonnon monimuotoisuutta (Jormola ja Kotola 2003). Hulevesiä tulisi käsitellä resurssina ja käyttää ne esimerkiksi kasteluun eikä ajatella niitä teknisenä ongelmana, josta tulee päästä eroon. Vedet tulisi mieluiten käsitellä jo syntypaikalla (US EPA 1999). Käsittelymenetelmillä on kolme päätavoitetta: virtaaman hallinta, saasteiden poisto vedestä ja saastelähteiden vähentäminen. Näistä kaksi ensimmäistä voidaan toteuttaa rakenteellisilla menetelmillä. Saastelähteiden vähentäminen edellyttää koulutusta ja tiedotusta (US EPA 1999).

Rakenteilla olevalla alueella kaikkein tehokkain hulevesien aiheuttamien ongelmien ehkäisymenetelmä on vähentää valunnan osuutta sadannasta esimerkiksi lisäämällä imeytystä ja varastoitumista sekä vähentämällä suoraan viemäristöön liitettyjen läpäisemättömien pintojen määrää. Keinoina voidaan käyttää imeytyskaivojen rakentamista, avoimen tilan säilyttämistä, jokien rantavyöhykkeiden suojelemista, läpäisevien päällysteiden käyttöä ja vesien ohjaamista kasvillisuuden peittämiin kanaviin tai painanteisiin perinteisen vesikourujärjestelmän sijasta. Katualueilla voidaan

rakentaa jalkakäytävä vain toiselle puolelle katua. Tiet voidaan rakentaa kapeammiksi, jolloin läpäisemätöntä alaa on vähemmän sekä lisäksi ajonopeudet alenevat ja turvallisuus parantuu (CWP 2000). Rakennettavalla alueella kannattaa välttää maaperän ylimääräistä mylläystä ja rakennustarvikkeiden kasausta nurmikoille, jotta maaperän imeyntäkyky säilyy (US EPA 1999).

Valmiilla alueilla, joilla jo on perinteinen sadevesijärjestelmä, järjestelmän muuttaminen virtaamaa hidastavaan suuntaan voi olla hankalaa ja kallista.

Rakennetuillakin alueilla voidaan kuitenkin käyttää useita keinoja kuten kattovesien ohjaamista viemäristön asemesta imeytyspainanteisiin. Vesikouruja voidaan korvata kasvillisuuden peittämällä kanavilla ja vedet voidaan johtaa imeytyskentälle. (US EPA 1999)

Kylmä ilmasto aiheuttaa omat ongelmansa hulevesien käsittelymenetelmille. Ongelmia ovat mm. putkien jäätyminen, jääkannen muodostuminen altaisiin, talvenaikainen vähentynyt biologinen aktiivisuus kosteikoissa, routanousu, vähentynyt maaperän imeyntäkyky, lyhyt kasvukausi, jolloin kasvipeitteen muodostuminen ja säilyttäminen on hankalaa, sekä korkeat virtaamat ja ainepitoisuudet sulantakaudella. Veden kylmetessä sen viskositeetti kasvaa, jolloin partikkelien laskeutuminen hidastuu. Tämä alentaa laskeutukseen perustuvien menetelmien tehoa talvikaudella. (Claytor ja Caraco 1997)

Jäätymisen ohella toinen kylmän ilmaston ongelma on suolauksen vaikutus vesistöihin, kun keväällä lumien sulaessa puroihin tulee suuria suolapitoisuuksia (Jormola ja Kotola 2003). Suola ei ole vakava vedenlaatuongelma, mutta se voi suurina pitoisuuksina haitata kasveja. Lumet tulisi kasata vettä läpäiseville alueille, jotta sulamisvesi pääsee imeytymään maahan. Kasauspakkoina voidaan käyttää imeytysaltaita tai muita imeyttämiseen sopivia alueita, kunhan lumen sisältämä hiekka ei tuki niitä (Claytor ja Caraco 1997). Alueille kannattaa sijoittaa suolaa kestäviä kasveja ja kertynyt sedimentti ja kuolleet kasvit tulee poistaa keväisin (Oberts 1994).

USA:ssa suoritettiin Center for Watershed Protectionin (CWP) toimesta maanlaajuinen tutkimus, jossa selvitettiin hulevesikäsittelymenetelmien asiantuntijoiden mielipiteitä eri menetelmien soveltuvuudesta kylmään ilmastoon. Vastaajat edustivat pääasiassa valtion- ja paikallishallintoa. Asiantuntijoilta kysyttiin, mitä menetelmää he

suosittelisivat kylmään ilmastoon. Yli 60 prosenttia vastaajista suositteli kosteikoita (wetlands), pidätysaltaita (wet ponds), painanteita (swales) ja puskurivyöhykkeitä (filter strips). Seuraavaksi eniten kannatusta saivat hiekkasuodattimet (sand filter), imeytyskentät ja -altaat (infiltration trenches and basins) ja viivytysslämmikot (dry ponds). Vähiten kannatusta (alle 20 % vastaajista) sai huokoinen päällyste. (Claytor ja Caraco 1997)

Rakenteiden puhdistuksesta ja kunnossapidosta on huolehdittava, jottei pohjalle laskeutunut aines lähde uudestaan liikkeelle ja jotta alueet säilyvät siisteinä asuin ympäristön kannalta. Imeytysalueet eivät saa olla liian lähellä rakennuksia (Jormola ja Kotola 2003). Käsittelymenetelmien mitoituksessa tulee ottaa huomioon kylmän ilmaston erikoispiirteet kuten lumen sulannasta syntyvät suuret virtaamat, lumen sulamisen aikainen vesisade, joka kasvattaa virtaamia entisestään, sekä jäätyneiden pintojen huono vedenläpäisykyky (Claytor ja Caraco 1997).

Yleisesti erilaiset imeytysratkaisut sopivat valuma-alueen yläosiin, missä maaperän vedenläpäisevyys on hyvä, ja erilaiset viivyty- ja kosteikkoratkaisut valuma-alueen alaviin alaosiin, joissa maaperä on hienojakoisempaa ja sen imeyntäkyky on huonompi. (Ahponen 2003)

Rakenteelliset huleveden käsittelymenetelmät voidaan jakaa joko niiden toimintaperiaatteen perusteella (imeytys, viivyty, pidätys, suodatus) tai rakenteen perusteella (altaat, kosteikot, imeytyspainanteet jne.) Seuraavassa esitellään muutamia käsittelymenetelmiä:

- imeytykseen perustuvat menetelmät kuten imeytysaltaat
- kosteikot ja laskeutusaltaat
- suodatusmenetelmät
- avo-ojat, hulevesien johtaminen
- saasteiden synnyn ehkäisy, saastelähteiden vähentäminen

Menetelmät on jaettu rakenteellisesti, mutta niiden toimintaperiaate on osittain päällekkäinen. Lisäksi pohditaan menetelmien soveltuvuutta pohjoiseen ilmastoon.

3.2 Imeytykseen (infiltration) perustuvat menetelmät

Imeyttämisen tarkoituksena on lisätä pohjavettä ja siten vähentää kaupungistumisen negatiivisia vaikutuksia hydrologiseen kiertoon. Vettä imeytettäessä partikkelit poistuvat vedestä suodattumalla tai adsorboitumalla ja lisäksi maaperän mikro-organismit hajottavat orgaanisia aineita (US EPA 1999). Erilaisia imeytysjärjestelmiä ovat läpäisevät päällysteet, imeytysaltaat ja imeytyskentät. Nämä kaikki parantavat veden laatua ja lisäävät pohjavesivarastoa. Lisäksi imeytysaltaat toimivat tulvasuojelun apuvälineinä (Claytor ja Caraco 1997, US EPA 1999). US EPA:n mukaan imeytys onkin tehokkain hulevesien käsittelymenetelmä, koska se sekä vähentää hulevesivirtaamaa että puhdistaa vettä (US EPA 1999). Imeytystä käytettäessä tulee huolehtia maaperän riittävästä imeyntäkyvystä. Pohjavesi ei saa likaantua eikä imeytysjärjestelmä saa tukkeutua. Erityisesti tämä tulee ottaa huomioon kylmässä ilmastossa, jossa maan routaantuminen vaikeuttaa veden imeytymistä ja hiekoitushiekka voi tukkia imeytysjärjestelmän (Claytor ja Caraco 1997). Sellaisilla alueilla, joiden pohjavettä käytetään talousvetenä, tulee imeyttämisen suhteen noudattaa varovaisuutta (US EPA 1999). Aina imeytys ei kylmissä olosuhteissa ole paras vaihtoehto (Claytor ja Caraco 1997).

Allasta rakennettaessa tulee huolehtia siitä, ettei altaan alapuolista maata rakennusvaiheessa tarpeettomasti tiivistetä, jolloin imeyntäkyky alenee. Myös rakentamisen aikainen kiintoaineksen liikkuminen voi tukkia järjestelmän ennenaikaisesti, joten imeytysjärjestelmää ei tulisi ottaa käyttöön ennen kuin alue on stabiloitu kasvillisuuden avulla. (US EPA 1999)

Imeytystä käytettäessä tulee selvittää, onko maalajin imeyntäkyky riittävä eli yli 0,5 tuumaa (1,3 cm) tunnissa ja yli 10 eekkerin (25 ha) valuma-alueiden tapauksessa 1,5 tuumasta 2 tuumaan (3,8 cm – 5,1 cm) tunnissa ja riittääkö maaperän puhdistuskyky suojaamaan pohjavettä. Savipitoisuuden tulisi olla alle 30 % ja silttipitoisuuden alle 40 %. Erityisen likaisille kaupunkialueille imeytys ei sovi. Imeytysaltaan pohjan tulee olla 2-4 jalan (n. 60 cm – 120 cm) korkeudella pohjaveden pinnasta. (Claytor ja Caraco 1997)

Maan imeyntäkyky sadetapahtuman alussa on suhteellisen suuri, ja sateen jatkuessa se laskee vakiotasolle, jota nimitetään lopulliseksi imeynnäksi. Mitä kosteampi maa on sadetapahtuman alussa, sitä pienempi on alkutilan imeytymisnopeus. Kasvusto suojaa maanpintaa kovettumiselta ja lisää siten imeyntäkykyä. Imeytymisen kannalta paras tilanne on heinäkasveja kasvavalla alueella, jonka imeyntäkyky on jopa 7-kertainen verrattuna vastaavanlaiseen paljaaseen maa-alueeseen. Maan imeyntäkyky voidaan selvittää infiltrometrillä. Infiltrometri on yksinkertaisimmillaan ontto sylinteri, joka asetetaan halutulle syvyydelle ja täytetään vedellä, minkä jälkeen mitataan veden pinnan laskeutumisnopeus. (Vakkilainen 1986)

Maaperän imeyntäkykyyn vaikuttavat kasvillisuus, maan kaltevuus, maalajit, pohjavesiolot ja imeytettävän veden laatu. Kasvillisuus yleensä parantaa imeyntäkykyä. Pinnanmuotojen ollessa loivia kasvillisuus vaikuttaa imeyntäkykyyn edullisesti. Jyrkässä maastossa vaarana on eroosio. Stahren ja Torrellin (1978) mukaan maan imeyntäkyky riippuu suurelta osin maan tehoisasta huokoisuudesta eli siitä tilavuudesta, joka on täytynyt vedellä maan ollessa kyllästystilassa. Soralle tämä arvo on 30 % ja hiekalle 25 %, moreenille 5-10 %. Eri maalajien vedenläpäisevyyksille annetaan arvot (m/s) sora $10^{-3} \dots 10^{-1}$, hiekka $10^{-6} \dots 10^{-2}$, siltti $10^{-9} \dots 10^{-5}$, savi $< 10^{-9}$, moreeni $10^{-10} \dots 10^{-6}$ (Stahre ja Torrell 1978). Näistä Claytorin ja Caracon (1997) esittämän imeytysehdon yli 0,5 tuumaa (13 mm) tunnissa täyttää ainoastaan sora. Mikäli pohjaveden pinta on lähellä maanpintaa, ei maaperässä ole tilaa imeyttää ylimääräistä sadevettä varsinkaan pitkäkestoisten sateiden yhteydessä. Myös huleveden sisältämät aineet vähentävät pitkällä aikavälillä maan imeyntäkykyä. Tässä maanpinnan kasvillisuus voi auttaa puhdistamalla osaltaan läpi kulkevaa vettä (Stahre ja Torrell 1978).

Yksinkertaisimmillaan imeytys voidaan toteuttaa johtamalla hulevesi kasvillisuuden peittämälle maa-alueelle. Tällöin tulee huolehtia siitä, ettei vesi jää seisomaan maanpinnalle. Imeyttävänä pintana voidaan käyttää myös avo-ojaa. Katolta tuleva sadevesiränni voidaan johtaa maanalaiseen imeytysrakenteeseen, kivipesään (ruots. stenkista), jossa on esimerkiksi kivimursketta. Rakenteesta vesi pääsee imeytymään maaperään. Rakenne voidaan toteuttaa kaivamalla maata pois ja korvaamalla se vettä läpäisevällä aineella. Rakenne tulisi sijoittaa pohjavedenpinnan yläpuolelle. Jos se

sijaitsee pohjaveden pinnan alapuolella tai jos imeytymisnopeus on alhainen, järjestelmä tulee varustaa ylivuotomekanismilla. (Stahre ja Torrell 1978)

3.2.1 Läpäisevät pinnoitteet (porous pavements)

Läpäiseviä päällysteitä on kahta tyyppiä: huokoinen, ns. avoin asfaltti ja erilaiset keskeltä avoimet betoniharkot, ns. ruohokivet (block pavements) (Claytor ja Caraco 1997). US EPA:n mukaan läpäisevät pinnoitteet sopivat vähäliikenteisille alueille kuten asuinalueille tai pysäköintialueille. Ne eivät sovi raskasliikenteisille alueille. Alueet, joilla tätä menetelmää on käytetty, tulee merkitä, jotta päällystettä ei hiekoiteta, käytetä liian raskaasti tai päällystetä uudelleen tavallisella läpäisemättömällä päällysteellä. Tukkeutumisen estämiseksi läpäisevä pinnoite vaatii jatkuvaa huoltoa. (US EPA 1999)

Läpäisevät pinnoitteet ovat asiantuntijakyselyn mukaan kaikkein vähiten suositeltuja menetelmiä kylmiin oloihin. Läpäiseviä pinnoitteita on käytetty esim. Ruotsissa menestyksekkäästi, mutta niiden hoito vaatii huolellisuutta, ja jos hoitoon ei olla valmiita sitoutumaan, ei tätä menetelmää kannata käyttää lainkaan. Ongelmana on huokosten tukkeutuminen katujen hiekoituksen seurauksena. Lumen poisto varsinkin betoniharkoilla päällystetyltä alueelta on hankalaa, koska kauhan osuessa harkkojen reunoihin on vaarana sekä päällysteen että kauhan rikkoutuminen. Jos läpäisevällä pinnoitteella päällystetty tie halutaan pitää auki, on käytettävä suolaa, mistä voi olla seurauksena pohjavesien likaantuminen. (Claytor ja Caraco 1997)

3.2.2 Imeytysaltaat ja – kentät (infiltration basins and trenches)

Imeytyskenttä on soralla tai muulla vastaavalla huokoisella aineella täytetty allas, jonka tarkoituksena on imeyttää vesi maaperään. Imeytysaltaalla tarkoitetaan kuivana aikana tyhjää allasta, joka kerää sadevettä ja imeyttää sen maaperään. Imeytykseen perustuvat menetelmät puhdistavat vettä adsorption, suotautumisen ja mikrobitoiminnan avulla. (US EPA 1999)

Imeytysaltaat suunnitellaan yleensä niin, että ne keräävät vain osan valunnasta ja loppu ohittaa järjestelmän. Tarkoituksena ei ole, että altaassa on vettä jatkuvasti. Altaat tulee US EPA:n mukaan suunnitella niin, että ne tyhjenevät 72 tunnissa, jotta välttyään

seisovan veden aiheuttamilta ongelmilta kuten hajuhaitoilta, ja jotta allas on tyhjä seuraavaa sateen aiheuttamaa valuntaa varten. (US EPA 1999)

Imeytysaltaat ovat Stahren ja Torrellin (1978) mukaan ongelmallisia siksi, että vaihtelevan vedenkorkeuden takia ne eivät ole erityisen esteettisiä ja koska ne voivat aiheuttaa turvallisuusriskin ympäristölle. Lisäksi altaan pohja tulee säännöllisesti puhdistaa imeyntäkyvyn ylläpitämiseksi. (Stahre ja Torrel 1978)

Imeytyskentät keräävät vain pienen osan valunnasta ja ne voidaan suunnitella keräämään esimerkiksi sateen ensimmäinen osa, ns. alkuhuuhtouma (first-flush). Pienen kapasiteetin vuoksi imeytyskentät kannattaakin yleensä yhdistää johonkin toiseen käsittelymenetelmään (US EPA 1999). Imeytyskentät voidaan suunnitella nurmipintaishina, jolloin ne ovat kuivana aikana muussa käytössä (Jormola ja Kotola 2003).

Imeytysaltaat ja -kentät sopivat kylmiin oloihin läpäiseviä pinnoitteita paremmin, mutta niidenkin käytössä on omat rajoituksensa. Maan imeytyskyvyn tulisi olla kentille 1 tuuma (2,5 cm) tunnissa ja altaille 3 tuumaa (7,6 cm) tunnissa. Tämä ehkäisee tukkeutumista ja parantaa talvenaikaista imeyntää. Kenttiä tai altaita ei syvän roudan alueilla tule sijoittaa lähelle teitä, jotta vältetään routimisen aiheuttamilta ongelmilta. (Claytor ja Caraco 1997)

Altaat ja kentät eivät luonnollisesti sovi ikeiroudalle. Pohjaveden laatua tulee tarkkailla suolauksen seurauksena pohjavesiin mahdollisesti kulkeutuvien kloridien varalta. Jos halutaan huolehtia siitä, ettei kloridi likaa pohjavettä, imeytystä ei tule soveltaa teiltä tai pysäköintialueilta tulevalle sulantavedelle. (Claytor ja Caraco 1997)

Kuivattamalla salaojituksella altaan tai kentän alapuolista maata saadaan imeyntäkykyä parannettua, koska kuiva maa imee paremmin vettä myös talvella. Imeyntää voidaan lisätä 30 senttimetrin (1 foot) hiekka- tai sorakerroksella altaan tai kentän pohjalla. Lisäksi vesiä voidaan esikäsitellä ja siten parantaa imeytystä johtamalla vesiä nurmipeitteisten kanavien tai muiden kasvillisuutta sisältävien alueiden kautta. (Claytor ja Caraco 1997)

Järjestelmää voidaan käyttää vuodenaikaisesti: talvikauden alussa salaojituksen säätöventtiili avataan, jolloin maa kuivuu ja sen imeytäkyky paranee. Keväällä, kun lumet alkavat sulaa, venttiili suljetaan. Tällöin sulamisvesi imeytyy kunnes kapasiteetti täyttyy, minkä jälkeen järjestelmä toimii viivytyks- ja laskeutusaltaana. Lisäkapasiteettia voidaan tarvita tulvien ehkäisemiseksi. Osa vedestä voidaan johtaa toiseen käsittelyjärjestelmään, kuten alavirran kosteikkoon. (Claytor ja Caraco 1997, Oberts 1994b)

Imeytysaltaita voidaan käyttää lumivarastona ja jopa 50 % altaan tilavuudesta voidaan täyttää lumella. Imeytysaltaisiin ei kuitenkaan saa kasata teiltä tai pysäköintialueilta peräisin olevaa lunta, sillä sen sisältämä hiekka voi tukkia imeytysjärjestelmän ja suolauksesta peräisin olevat kloridit voivat liata pohjaveden. (Claytor ja Caraco 1997)

3.3 Kosteikot ja laskeutusaltat (wetlands and ponds)

Kosteikkoja ja laskeutusaltaita käytetään Suomessa peltojen valumavesien puhdistamisessa, ja niitä voidaan käyttää myös hulevesien puhdistamisessa. Kosteikon ja laskeutusaltan toiminta perustuu veden virtauksen hidastamiseen, partikkelien laskeuttamiseen ja kasvien ravinteidenottoon.

3.3.1 Viivytyks (detention) ja pidätys (retention)

US EPA (1999) erottelee termit viivytyks (detention) ja pidätys (retention). Viivytyksen tarkoituksena on kerätä osa valunnasta ja vapauttaa se vesistöön tai viemäristöön vähitellen myöhemmin, jolloin huippuvirtaama alenee. Viivytyksjärjestelmät tyhjenevät sateiden välillä, yleensä alle vuorokaudessa, ja vaikuttavat siten lähinnä virtaamia vähentävästi. Vähäistä laskeutumista voi tapahtua, mutta sedimentoitunut aine resuspendoituu helposti seuraavan sateen yhteydessä. Viivytyksjärjestelmä voidaan toteuttaa myös maanalaisena. Lisäksi alustavasti tutkitaan mahdollisuuksia viivyttää hulevesiä sadevesiviemäristössä venttiilien tai sulkujen avulla. Tämä voisi olla käyttökelpoinen menetelmä valuma-alueen latvaosissa, mutta se vaatii vielä lisää tutkimusta. (US EPA 1999)

Pidätykseen perustuvissa altaissa säilyy vettä koko ajan. Vanha vesi korvautuu kokonaan tai osittain uudella seuraavan sateen yhteydessä (US EPA 1999). Pysyvän

vesipinnan altaat toimivat tehokkaammin hulevesien laadun parantamisessa verrattuna välillä tyhjenevään altaaseen. Kun altaassa on vettä jatkuvasti, tulovirtaama ei huuhto pohjalle sedimentoitunutta ainesta ja veden viipymä altaassa on pidempi (Ahponen 2003).

Suomessa puhutaan yleensä viivytyksaltaista, tasausaltaista ja laskeutusaltaista. Tasausallasta voidaan pitää yläkäsitteenä, sillä sekä tyhjenevä että pysyvän vesivaraston allas toimivat virtaamaa tasaavina rakenteina. Viivytyksallas ja laskeutusallas ovat tasausaltaan tyyppisiä siten, että viivytyksallas tyhjenee sateiden välillä eikä laskeutumista juuri tapahdu, kun taas pysyvän vesipinnan allasta voidaan nimittää laskeutusaltaaksi.

3.3.2 Kosteikot

Kosteikolla tarkoitetaan vesistökuormitusta vähentävää ojan osaa ja ranta-aluetta, joka suuren osan vuodesta on veden peitossa ja muutoinkin pysyy kosteana. Kosteikko perustetaan yleensä patoamalla ja siinä on tyypillisesti vesi- ja kosteikkokasvillisuutta. Kosteikkoon kannattaa liittää avovesipintainen syvän veden alue, joka toimii laskeutusaltana (Maa- ja metsätalousministeriö 2003). Kosteikkokasvillisuus stabiloi maaperää ja vähentää siten eroosio- ja resuspensioriskiä (Puustinen *et al.* 2001).

US EPA:n jaon mukaan kosteikko on oikeastaan pidätysaltan erikoistapaus, jossa on lisäksi vesikasvillisuutta. Kosteikoksi voidaan katsoa myös rantaniittymäinen alue, joka osittain on veden peitossa ja välillä kuivuu. (US EPA 1999)

Kosteikoissa suspendoituneet partikkelit ja niihin sitoutuneet ravinteet sedimentoituvat ja samalla poistuu partikkeleihin sitoutunutta fosforia. RYVE -projektissa havaittiin, että Laaksoalahden pientaloalueella kiintoaineeseen sitoutuneen fosforin osuus kokonaisfosforista oli ylimmillään 87 % ja keskimäärin 58 % (Kotola ja Nurminen 2003b), joten laskeuttamalla voidaan poistaa merkittäviä määriä partikkelimuotoista fosforia, joka tosin ei ole leville suoraan käyttökelpoista. Kosteikossa voi tapahtua myös hienojakoisen aineksen laskeutumista, kun partikkelit tarttuvat kasvien pintaan ja muodostavat suurempia muruja, jotka putoavat kosteikon pohjalle (Puustinen *et al.* 2001). Kasvit, levät, mikro-organismit ja kasviplankton sitovat liukoisessa muodossa olevia ravinteita biomassansa. Lisäksi altaasta voi tapahtua imeytymistä (US EPA

1999, Claytor ja Caraco 1997). Kosteikot tarjoavat akvaattisia, terrestrisiä ja niiden välimuotoisia elinympäristöjä kasveille ja eläimille sekä tuovat esteettistä lisäarvoa ja lisäävät luonnon monimuotoisuutta.

Kosteikot sopivat erityisen hyvin paikkoihin, joissa pohjaveden pinta on lähellä maanpintaa. Tällöin pohjavesi auttaa kosteikon vedenpinnan säilyttämisessä vakiotasolla. Vesipinnan on pysyttävä tietyllä tasolla myös sateiden välillä sekä kuivina ajanjaksoina, jotta vesikasvillisuus ei kärsi (US EPA 1999).

Kosteikon kasveja tulisi säännöllisesti niittää, jotteivät ravinteet kulkeudu vesistöön kasvien kuoltua (US EPA 1999). Hoitamattomaan kosteikkoon voi kehittyä tiheä järviruokokasvusto, joka tukahduttaa muut lajit, ja rannoille voi muodostua pajukko, joka hävittää kosteikon näkyvistä. Niittämällä kosteikkoa edistetään luonnon monimuotoisuutta. Osa kosteikosta voidaan jättää niittämättä, jotta muodostuu mosaiikkimainen kasvusto, joka on maiseman ja eliöstön kannalta tasaisesti niitettyä parempi vaihtoehto (Ruohtula 1996).

3.3.3 Laskeutusaltaat

Laskeutusaltaalla tarkoitetaan ojaan kaivamalla tai patoamalla tehtyä allasta, jonka tarkoituksena on kerätä veden mukana liikkuvaa maa-ainesta ja estää sen pääsy vesistöön (Maa- ja metsätalousministeriö 2003). Suspendoitunut aines sedimentoituu virtaaman hidastuessa pohjalle. Metallit, hiilivedyt, ravinteet ja happea kuluttava aines voivat adsorboitua tai kiinnittyä suspendoituneihin partikkeleihin, ja siten partikkelien laskeutuminen voi poistaa suuren osan saasteista (US EPA 1999). Liukoissa muodossa olevaa typpeä tai fosfaattifosforia laskeutusaltaat eivät poista. Laskeutusallas toimii samalla virtaamaa tasaavana rakenteena.

Useat huleveden lika-aineet kuten metallit, hiilivedyt, ravinteet ja happea kuluttava aines ovat kiinnittyneinä kiintoaineeseen, joten laskeuttamalla kiintoaines saadaan poistettua suuri osa haitallisista aineista. Laskeuttamisen tehokkuus riippuu ajasta, jonka vesi viipyy altaassa. Liian nopeasta veden virtauksesta seuraa, ettei partikkelimuotoinen aines ehdi laskeutua (US EPA 1999). Mitoituksessa voidaan käyttää hienon hiedan (raekoko > 0,02 mm) laskeutumisnopeutta 1 m/h, sillä tätä hienompaa ainesta ei kannata

yrittää laskeuttaa. Virtausnopeuden tulisi lisäksi hidastua arvoon 1 cm/s (Ruohtula 1996).

Laskeutusaltaan pituuden suhde leveyteen tulisi olla vähintään 1,5 ja altaan tulisi olla kiilan muotoinen siten, että allas on kapeimmillaan alussa ja leveimmillään lopussa. Pysyvän vesipinnan syvyyden ei tulisi ylittää kahdeksaa jalkaa (2,4 m) (Center for Watershed Protection 2000b). Edullisin muoto on sellainen, että altaan pituus on 7...10 kertaa sen vedenpinnan leveys (Ruohtula 1996). Pitkänomainen allas lisää veden viipymää, parantaa puhdistustehoa ja vähentää virtauksen pyörteisyyttä ja siten resuspensiota (Ahponen 2003). Leveässä altaassa vesi virtaa keskiosan läpi ja suuri osa altaan pinta-alasta jää käyttämättä. Altaassa tulisi olla niin syvä osa, että pohjalle muodostuu hapettomat olosuhteet, mikä edesauttaa typen poistumista denitrifikaation myötä. Allas asettuu maisemaan kauniisti, mikäli sen reunat muotoillaan loiviksi. Loivat reunat ehkäisevät eroosiota ja luovat edellytykset kasvien asettumiselle. Altaan vedenkorkeuden tulisi olla lietetilan yläpuolella yli 0,5 m, jotta kasvillisuus ei tuki allasta ja estä veden virtausta (Ruohtula 1996).

3.3.4 Yhdistelmäkosteikot

Laskeutusaltaan ja kosteikon hyvät ominaisuudet voidaan yhdistää rakentamalla avovesipintainen allas ja kasvillisuuskosteikko yhdessä. Typen poisto denitrifikaation avulla edellyttää syvää osaa ja hapettomia oloja, kun taas fosforin poisto edellyttää hapellisia oloja. Altaassa kiintoaine laskeutuu altaan pohjalle ja altaan pohjalle muodostuvat hapettomat olot luovat edellytykset typen poistumiselle denitrifikaation myötä. Hapettomissa oloissa altaasta mahdollisesti vapautuva fosfaattifosfori sitoutuu kosteikkoon, jossa vallitsevat hapelliset olosuhteet. Liukoisessa muodossa olevat ravinteet, jotka eivät pysähdy laskeutusaltaaseen, sitoutuvat kosteikon kasvillisuuteen. (Puustinen *et al.* 2001)

3.3.5 Talvenaikaiset ongelmat

Oberts (1994b) tutki kosteikoiden ja altaiden toimintaa talviaikana neljällä altaalla Minnesotassa. Sulana aikana altaat poistivat tehokkaasti ravinteita, mutta kevään sulamisvesien käsittelyssä oli havaittavissa selvä huononema. Talvella laskeutusaltaat

poistivat sedimenttiä ja orgaanista ainesta kohtuullisesti, mutta huonosti ravinteita ja lyijyä. Pääsyy huonoon talvenaikaiseen toimintaan on kosteikkoon muodostuva jääkansi, jonka seurauksena altaan tilavuus vähenee ja vesi virtaa joko jääkannen alla nopeasti aiheuttaen turbulenssia ja resuspensiota tai jääkannen päällä järjestelmän ohi. Kosteikoiden teho voi alentua vielä altaita enemmän, sillä ne ovat yleensä matalampia, niissä on hajonnutta biologista ainesta, joka voi resuspendoitua, eikä biologista aktiviteettia ole talvella (Oberts 1994b). Toisaalta Puustisen *et al.* (2001) mukaan kosteikkojen talvehtiva kasvillisuus yhdessä lumipeitteen kanssa toimii lämpöeristeenä, joka ehkäisee kosteikon maaperän jäätymistä (Puustinen *et al.* 2001).

Jäätymisestä aiheutuvat ongelmat voidaan ehkäistä tyhjentämällä kosteikko ennen talvea, jolloin kosteikon pohjalla virtaa läpi talven vähäinen puro, ja keväällä altaan annetaan taas täyttyä (Jormola ja Kotola 2003, Roberts 1994b).

Altaiden tulisi olla syvimmillään juuri ennen purkupaikkaa, jotta ehkäistään pohjan syöpyminen veden virratessa jään alla (Oberts 1994b). Purkupaikka ei myöskään saa tukkeutua jäätyksen seurauksena (Claytor ja Caraco 1997).

3.4 Suodattamiseen (filtration) perustuvat menetelmät

Suodattamisella tarkoitetaan saasteiden poistoa veden virratessa hiekan tai orgaanisen materiaalin läpi (Claytor ja Caraco 1997). Suodatuksessa vesi kulkee läpäisevän materiaalin läpi ja puhdistuu partikkelien sitoutuessa väliaineeseen. Väliaine voi olla multaa, hiekkaa, soraa tai turvetta. Suodattimia käytetään yleensä pienillä alueilla kuten pysäköintipaikoilla, paikoissa, joissa mahdollisesti tulee suuria ainepitoisuuksia kuten teollisuusalueilla, tai tiiviisti rakennetulla kaupunkialueella, jossa ei ole tilaa muille menetelmille. Menetelmä kannattaa asentaa niin, että ylivuodot ohittavat järjestelmän. Lisäksi ennen suodatinta kannattaa sijoittaa laskeutuskammio, joka pidättää suuret partikkelit. Suodatusjärjestelmä voidaan rakentaa maanpäällisenä tai maanalaisena. (US EPA 1999)

Suodatusjärjestelmä voidaan rakentaa myös niin, että hiekka- tms. kerros korvataan maa-aineksella, johon on istutettu kasvillisuutta. Tällöin puhutaan bioretentiosta. Sadevesi virtaa alueelle, muodostaa lammikoita ja imeytyy järjestelmään, josta se voidaan ohjata sadevesiviemäriin tai vesistöön tai sen voidaan antaa imeytyä

maaperään, jolloin järjestelmä tasaa pohjavesivarastoa. Bioretentioalue voidaan rakentaa esimerkiksi pysäköintialueen saarekkeeseen ja se voi tuoda alueelle esteettistä lisäarvoa. (US EPA 1999)

3.5 Hulevesien johtaminen kasvillisuuden peittämiä alueita pitkin

Hulevesiä voidaan perinteisen vesikourujärjestelmän (curb-and-gutter) sijasta johtaa kulkemaan erilaisia kasvillisuuden peittämiä painanteita tai kanavia pitkin (vegetated swales, filter strips). Tällöin ruohopeite tms. kasvillisuus osaltaan suodattaa ohi virtaavaa vettä. Veden virratessa tällaisessa avokanavassa tapahtuu jonkin verran puhdistumista, varastoitumista ja imeytymistä, mikä vähentää jatkokäsittelyn tarvetta, ja lisäksi veden virtaus hidastuu, mikä pienentää virtaamahuippuja. Vesi voi valua kanavaan joko suoraan pysäköintialueelta tms. tai se voidaan levittää sinne. Avokanava toimii yleensä esikäsittelynä ennen seuraavaa järjestelmää (US EPA 1999). Esimerkiksi katoilta kerättävä vesi voidaan johtaa kasvillisuuspainannetta pitkin imeytysaltaaseen tai kosteikkoon.

3.6 Lähteiden vähentäminen

Haitallisia aineita voidaan myös poistaa ennen kuin sade huuhtelee ne hulevesiin. Lannoitteiden käyttöä voidaan rajoittaa, katuja voidaan puhdistaa lakaisemalla, jotta roskat, eläinten jätökset ja erilaiset hiukkaset saadaan poistettua ja kuolleet kasvit voidaan kerätä pois. Lisäksi tarvitaan tiedotusta, sillä ihmiset ajattelevat helposti, että sadevesiviemäriin päätyneet haitalliset aineet päätyvät vedenpuhdistamolle. (US EPA 1999)

4 Suomalaisia hulevesiratkaisuja ja puhdistustuloksia

Suomessa hulevesiä on tutkittu ja käsitelty vasta vähän. Ensimmäisiä toteutettuja kokeiluja oli Espoon Pihlajarinneess 1980-luvun alussa toteutettu käsittelyratkaisu. Nykyään käsittelymenetelmiä on rakenteilla, mutta käytännön kokemuksia niiden toimivuudesta ei vielä juuri ole.

Yleensä kaupungeissa on käytössä erillisviemärointi. Sekaviemärointi eli hulevesien johtaminen yhdessä jätevesien kanssa vedenpuhdistamolle on käytössä vain joillain vanhoilla keskusta-alueilla kuten esimerkiksi Helsingissä (Jormola ja Kotola 2003) ja Hämeenlinnassa. Vuoden 1980 kokonaisviemäripituudesta Suomessa (22 000 km) 65 % oli jätevesiviemäreitä, 15 % hulevesiviemäreitä ja 20 % sekaviemäreitä (Melanen 1982). Vedenpuhdistamolla hulevedet aiheuttavat kapasiteettiongelmia sateiden ja lumen sulannan yhteydessä esiintyvien nopeiden virtaamahuippujen vuoksi.

4.1 Espoon Pihlajarinne

Ensimmäinen Suomessa toteutettu hulevesien käsittelyratkaisu oli Espoon Pihlajarinneen alueen hulevesien imeytyskokeilu 1980-luvun alussa. Alueen rakennukset olivat pääasiassa vanhoja pientaloja ja lisäksi alueelle oli rakennettu uudempia omakotitaloja. Alueelle oli kaavoitettu lisää tontteja ja katu- ja vesijohtoverkkoa suunniteltiin laajennettavaksi. Tutkimusalueella katoilta ja pihoilta tuleva hulevesi imeytettiin maaperään kivillä täytettyjen ns. kivipesien kautta, joten alueella imeytettiin hulevesiä jo ennen kokeilua. Alueelle toteutettiin maanalaisia imeytysrakenteita, jotka oli täytetty karkealla soralla. Vesi johdettiin rakenteeseen tavallisen sadevesikaivon kautta ja niistä johti ylivuotoputki tavalliseen sadevesikaivoon, joten rakenteet olivat yhteydessä sadevesiviemäriverkostoon.

Tutkimuksessa selvitettiin rakenteiden vaikutusta alueen vesitasapainoon, mutta rakenteiden vaikutusta veden laatuun ei tutkittu. Kolmen vuoden tarkkailun tulokset olivat positiivisia. Hidastus-imeytysrakenteet ja sulut toimivat hyvin. Järjestelmä pienensi vesistöön joutuvan huleveden määrää ja lisäsi veden imeytymistä maaperään.

Rakenteet myös ylläpitivät pohjavesivarastoa. Rakennuskustannukset olivat pieniä, sen sijaan saavutettiin selvää säästöä, koska viemäriverkoston putkikokoja voitiin hidastusviivytysrakenteiden ansiosta pienentää. Järjestelmän vaatimat huoltotoimenpiteet olivat samat kuin perinteisessä järjestelmässä (sakkapesien tyhjennys parin vuoden välein), joten erityisille toimenpiteille ei ole ollut tarvetta.

Maanalaisilla rakenteilla ei tuoda vettä kaupunkikuvaan, mutta niillä on epäsuora positiivinen vaikutus kasvien hyvinvointiin. (Leminen ja Helander 1985, Ahposen 2003 mukaan)

4.2 Vaasassa toteutetut koeratkaisut

Kannalan (2001) Vaasassa suorittamaa hulevesitutkimusta varten rakennettiin koekäyttöön vesivanerista laskeutusallas. Allas oli mitoitettu pintakuormalle 1 m/h. Altaan käyttöönotossa kuorma oli jopa kaksinkertainen, mutta käyttöönoton jälkeen pintakuorma ylitti mitoitusravon vain hetkittäin. Alimmillaan kuorma oli 0,5 m/h. Viiden vesinäytteen perusteella kiintoainetta laskeutui 1–37 % ja suurin reduktioprosentti esiintyi pintakuorman ollessa suurimmillaan. (Kannala 2001)

Koekosteikko, jonka pinta-ala oli noin 150 m², muodostettiin ojan viereiseen painanteeseen. Ojasta pumpattiin vettä painanteen yläpuoliselle harjanteelle, josta se valui kosteikon läpi tarkoitusta varten kaivettuun kokoojaojaan. Kosteikkoalueella kasvoi luonnostaan ruohovartisia kostean niityn kasveja ja ainoastaan purkupaikan yhteyteen istutettiin järviruokoa. Sateiden aikana neljännes kosteikkoalueesta oli veden peitossa ja muu osa toimi pintavalutuskenttänä. Kosteikko pidatti kiintoainetta keskimäärin 82 %. Kokonaisfosforin keskimääräinen reduktio oli 35 %.

Typpipitoisuudet puolestaan nousivat kosteikossa yli 50 %. Puhdistustehoa huononsivat lyhyt tutkimusaika, jolloin kosteikon kasvillisuus ei ehtinyt sopeutua muuttuneisiin olosuhteisiin, sekä liian lyhyt viipymä. (Kannala 2001)

Tutkimuksessa kokeiltiin myös hulevesien puhdistamista hiekkasuodattimella. Kun suodattimen pinta ehti sateiden välillä kuivua, suodatin säilytti imeyntäkyvyn, mutta yhtenäisten sateiden aikana suodattimen pinta tukkeutui eikä toiminut ilman huoltoa. Pinta oli harattava ja pidettävä puhtaana kasvillisuudesta. Puhdistusmenetelmänä hiekkasuodatus oli kuitenkin tehokas. Kiintoaineen reduktio oli koko tutkimuksen ajan

89-95 % ja kokonaisfosforin reduktio 75 %. Typen reduktio oli korkeimmillaan 17 %. Lisäksi suodatus vähensi raskasmetallien ja bakteerien määriä. (Kannala 2001)

4.3 Vihdin kosteikko

Vihdissä sijaitsevan tutkimus- ja esittelykäyttöön rakennetun Hovin kosteikon puhdistustulokset olivat hyviä (Puustinen *et al.* 2001). Kiintoaineesta ja fosforista pidättyi lähes 70 %, tuestä runsas 40 %. Kosteikkoon sedimentoitunut kiintoaine ei lähtenyt uudestaan liikkeelle. Kosteikon osuus valuma-alueesta on suuri, 5 %, ja kosteikko on muotoiltu S:n muotoiseksi niin, että vesi kiertää kosteikon kaikkien osien kautta, mikä lisää viipymää ja edesauttaa laskeutumista. Kahden muun vertailukosteikon tulokset olivat selvästi huonompia johtuen veden nopeasta, tehottomasta läpivirtauksesta tai kosteikon liian pienestä koosta verrattuna valuma-alueeseen. Hovin kosteikon kasvillisuus ei ollut yhtä runsas kuin kahdessa muussa kosteikossa, mutta silti sen puhdistustulokset olivat paremmat. Puustinen *et al.* toteavat, että kosteikon koko on ratkaiseva kiintoaineen laskeutumiseen vaikuttava tekijä (Puustinen *et al.* 2001). Peltojen valumavesien käsittelyyn tarkoitetuissa kosteikoissa ainepitoisuudet ovat yleensä suurempia kuin hulevesissä, mikä saattaa vaikuttaa niiden parempaan tehoon ravinteiden poistossa (Ahponen 2003).

4.4 Helsingin Viikin ekologinen asuinalue

Viikin ekologisella asuinalueella pyritään kokonaisvaltaiseen luonnonympäristön huomioonottamiseen (Helsingin kaupungin rakennusvirasto 2000, Ahponen 2003 mukaan). Kaupunginosaan kuuluu Helsingin yliopiston Tiedepuisto sekä 13 000 asukkaan asuinalue, jolla on pääasiassa pienkerrostaloja. Alueella kokeillaan ja toteutetaan ekologisten periaatteiden mukaisia ratkaisuja rakennuksissa, teknisissä järjestelmissä, pihoissa ja alueen ympäristössä (Pekkarinen-Kanerva ja Hakaste 2000, Ahponen 2003 mukaan).

Sadevesien hallinnassa pyritään käyttämään viivyttävää ja imeyttävää tekniikkaa. Pienet vesimäärät imeytetään maaperään ja suuremmat määrät johdetaan rakentamattomille alueille. Lisäksi virtausta hidastetaan ja puhdistetaan kasvillisuuden avulla.

Tarkoituksena on myös parantaa alueen läpi virtaavan Viikinojan vedenlaatua ja tasata

sinne virtaavan veden määrää (Helsingin kaupungin rakennusvirasto 2000, Ahposen 2003 mukaan)

Alueelle on toteutettu maanalaisia imeytysratkaisuja siten, että maahan on asennettu sadevesikaivo, jossa ei ole pohjaa. Kaivon pohjalla on soraa ja sen alla geotekstiili ja lujiteverkko. Hulevesi johdetaan kaivon alapuoliseen salaojaputkeen ja sitä kautta louhetäyttöön, josta se imeytyy maaperään. Kaivoissa on ylivuotoputki perinteiseen sadevesiviemäriin. (Helsingin kaupungin rakennusvirasto 2000, Ahposen 2003 mukaan)

Tonttialueilla kattovedet imeytetään imeytyskaivojen avulla tai suoraan maahan. Myös maanpäällisiä imeytyspainanteita on toteutettu. Niihin vesi johdetaan pintavirtausreittejä myöten. Lisäksi tonteilla on altaita, joihin kerätään sadevettä kastelutarpeisiin. Käytössä on myös ns. vihersormijärjestelmä, joka johtaa muuten imeytymättömät vedet viherkaistoja pitkin Viikinojaan. Ojaan on rakennettu kosteikkoja, jotka toimivat virtaaman tasaajina ja veden laadun parantajina. (Helsingin kaupungin rakennusvirasto 2000, Ahposen 2003 mukaan)

Alueen rakentaminen on vielä kesken, eikä tuloksia järjestelmän toimivuudesta ole muuten kuin maastokäyntien perusteella. Imeytyskaivot ovat näyttäneet toimivan hyvin. Rakennuskustannukset ovat suuremmat kuin perinteisellä järjestelmällä, koska alueelle on rakennettu rinnakkaisen perinteinen järjestelmä sekä luonnonmukainen järjestelmä imeytyskaivoineen. Huoltokokemuksia ei vielä ole. (Helsingin kaupungin rakennusvirasto 2000, Ahposen 2003 mukaan)

4.5 Oulun Toppilansaaren viheraluesuunnitelma

Oulun Toppilansaaren aluetta ollaan ottamassa asumis- ja matkailupalvelukäyttöön teollisen toiminnan siirtyessä muualle. Alueen asemakaavaehdotus on valmistunut tammikuussa 2003. Alue rakentuu vaihteittain vuosina 2003-2010 ja siellä pidetään asuntomessut vuonna 2005. Alueella on tarkoitus hyödyntää luonnonmukaista sade- ja pintaveden käsittelyä, jolloin vedet käsitellään paikallisesti ja vettä hyödynnetään ympäristörakentamisessa resurssina. Alueen maaperä ja korkeussuhteet sopivat erinomaisesti imeyttämiseen ja pääpaino onkin hulevesien imeyttämisenä.

Korttelialueiden sade- ja sulamisvedet suositellaan talteen otettaviksi ja käytettäväksi kasteluvetenä. Ylivuodot ohjataan viheralueiden pintavesiuomiin tai rannan

kosteikkoihin. Alueen pääkadulla on vihervälrikaista, joka toimii imeytys- ja suodatuspainanteena, ja reunakiveyksessä on aukotukset. Painanteisiin kertyvät epäpuhtaudet tulee puhdistaa keväisin katujen normaalin puhdistamisen yhteydessä, jotta niiden toimintakyky säilyy. Katujen viemärikaivot ovat irti kiveyksestä, jolloin vesi valuu pintavaluntana viheralueille. Imeyntä helpottamiseksi tonteilla tulee käyttää pääasiassa läpäiseviä pintoja kuten kivituhkaa, sorasaumattuja väljiä kiveyksiä, reikäkiveyksiä ja väljää asfalttia.

Lumet pyritään käsittelemään paikallisesti ja niitä voidaan kasata tyhjennettyihin vesiaiheisiin. Lumesta ehdotetaan muotoiltavaksi toiminnallisia ja visuaalisia talviaiheita. (Oulun kaupungin tekninen keskus 2003)

5 Kokeellinen osa

5.1 Tutkimusalueiden valinta ja ongelman rajaaminen

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää hulevesien ainevirtaama Katumajärveen, joten ensimmäisenä tehtävänä oli tarkastella, mistä hulevesiä todennäköisesti valuu järveen. Tutkimuksessa keskityttiin järveä ympäröiviin kaupunkimaisiin alueisiin. Kartan perusteella kiinnostavia alueita olivat järven pohjoispäässä sijaitseva Idänpään-Hätilän asuinalue sekä eteläosan Harvialan-Käikälän pientaloalue. Nämä alueet ovat kokonaan sadevesiviemäroityjä, ja viemärit johtavat joko järveen laskeviin ojiin tai suoraan järveen. Järven luoteiskulman asuinalueen hulevedet valuvat Kutalanjoen kautta Vanajaveteen. Myös länsipuolen teollisuusalueiden hulevedet valuvat alueen topografiasta johtuen Vanajaveden puolelle. Järven itäpuolella on haja- ja vapaa-ajan asutusta, joiden vaikutusta ei tässä tutkimuksessa huomioitu. Kuvassa 2 on Hämeenlinnan kaupunki, sen läpi virtaava Vanajavesi ja kaupungin itäpuolella Katumajärvi.

Katumajärveen laskee 13 sadevesiviemäriä (Hämeenlinnan seudun Vesi Oy 2003), joille kullekin määritettiin omat valuma-alueet. Purkupaikat ovat joko aivan rannassa vedenpinnan alapuolella, hieman kauempana jolloin ne muodostavat pienen puron ennen rantaa, tai ne laskevat suurempiin ojiin. Salmisen (2003) tutkimuksessa selvitettiin kunkin ojan tai puron tuoma ainevirtaama riippumatta siitä, oliko ojan vesi pääasiassa peräisin hulevesiviemäreistä, joten Salmisen tutkimuksen tuloksia pääasiassa hulevettä sisältävistä ojista voidaan käyttää vertailuarvoina. Kuvassa 3 on esitetty Katumajärven sadevesiviemäroidyt valuma-alueet rajattuna sinisillä viivoilla. Kuvassa näkyy myös osayleiskaavaluonnoksen mukainen itäpuolelle suunniteltu asuinalue.

Lähtökohdaksi otettiin sadevesiviemärien purkupaikat, ja sadevesiviemärikartan, korkeuskäyrien ja viemärien virtaussuuntien perusteella määritettiin kullekin purkupaikalle omat valuma-alueet. Valuma-alueiden perusteella määräytyivät siten ne alueet, joilta hulevesiä valuu Katumajärveen. Näitä valuma-alueita on yhteensä 13: Harvialanoja, Idänpään valtaoja, Katumanoja, Kihtersuonoja, Kukostensyrjänoja, Lummepolun sadevesiviemäri, Onkitie, Rantatienoja, pieni Rantatienoja, Rauhalanoja, Solvikinoja, Solvikin uimaranta ja Valkamatienoja. Näistä Katumanoja kerää vesiä kerrostaloalueelta, muut ojat ovat pientalovaltaisilla alueilla. Onkitien ja pienemmän Rantatienojan suuret läpäisemättömyysprosentit johtuvat alueiden pienestä koosta ja tarkasta rajauksesta. Taulukossa 7 on esitetty Katumajärven ympäristön sadevesiviemäröidyt valuma-alueet. Alueiden pinta-alat, viemäristön pituudet sekä läpäisemättömien alueiden alat on selvitetty tämän työn yhteydessä digitoimalla ne MapInfo Professional –karttatieto-ohjelmaan.

Taulukko 7. Katumajärven ympäristön sadevesiviemäröidyt alueet

	Alueen pinta-ala (ha)	Viemäristön pituus (m)	Rakennettua alaa (ha)	Rakennettua alaa (%)	Ojan tyyppi
Harvialanoja	1,8	252	-		2
Idänpään valtaoja	36,3	2886	7,68	21 %	2
Katumanoja	9,9	787	1,98	20 %	1
Kihtersuonoja	60,1	5637	11,52	19 %	2
Kukostensyrjänoja	32,2	2867	7,22	22 %	2
Lummepolun sadevesiviemäri	18,6	2006	4,58	25 %	1
Onkitie	1,7	183	0,89	54 %	1
Rantatienoja	17,1	2096	4,23	25 %	1
Rantatienoja (pieni)	1,8	315	0,74	41 %	1
Rauhalanoja	57,8	5050	12,86	22 %	1
Solvikinoja	5,8	940	1,19	21 %	1
Solvikin uimaranta	2,8	404	0,63	23 %	1
Valkamatienoja	0,7	96	-		1

Taulukon 7 valuma-alueiden purkupaikat on jaettu luokkiin seuraavasti: 1) vesi peräisin pelkästään sadevesiviemäriverkosta ja 2) vesi peräisin avo-ojasta johon lasketaan lisäksi sadevesiviemäriverkoston vesiä. Ainoastaan sadevesiviemäriverkoston vesiä sisältävistä ojista aikaisempia, käyttökelpoisia vedenlaatutuloksia on olemassa Katumanojasta, Solvikinojasta ja Rantatienojasta. Muutoin näytteenotto on painottunut suurempiin avo-ojiin.

Yhteensä sadevesiviemäroityjä alueita on Katumajärven ympärillä 246,5 hehtaaria. Valuma-alueiden pinta-alojen mukaan painotettu päällystetyn alan osuus on 22 %. Koska läpäisemättömien alojen tarkastelu on tässä työssä tehty pelkästään peruskartan perusteella, kohteita on voinut jäädä pois.

Sadevesiviemärien valuma-alueiden ulkopuolelle jääneet alueet jätettiin huomioimatta olettaen, etteivät ne ole tämän tutkimuksen kannalta merkittäviä kuormittajia. Samoin järven länsipuolen ojat, jotka tuovat vesiä pääasiassa peltoalueilta, rajattiin tutkimuksen ulkopuolelle.

Jatkuvan virtaaman mittaamisen ja näytteenoton kannalta edustavaksi valuma-alueeksi todettiin Rauhalanojan valuma-alue, joka sijaitsee Idänpään ja Hätilän kaupunginosissa. Alueen sadevedet kerääntyvät yhteen laskuputkeen, joka purkaa vedet noin 60 metriä ennen järveä Rauhalanojan nimellä tunnetuksi puroksi. Purkuputken suu on noin puoli metriä koholla itse purosta, joten putkesta syöksyvä vesi saattaa irrottaa puron pohjalle kertynyttä ainesta. Tämän estämiseksi puron pohjalle on asetettu kiviä. Puron ympärillä on luontainen kosteikko. Näytteenottopaikkoja on siis ojassa kolme: sadevesikaivo, viemärin purkupaikka, josta aiemmissa näytteenotoissa on käytetty nimeä Rauhalanoja, sekä kosteikon jälkeinen ojan osa juuri ennen järven rantaa. Aiemmat näytteet on otettu heti purkupaikan alapuolelta.

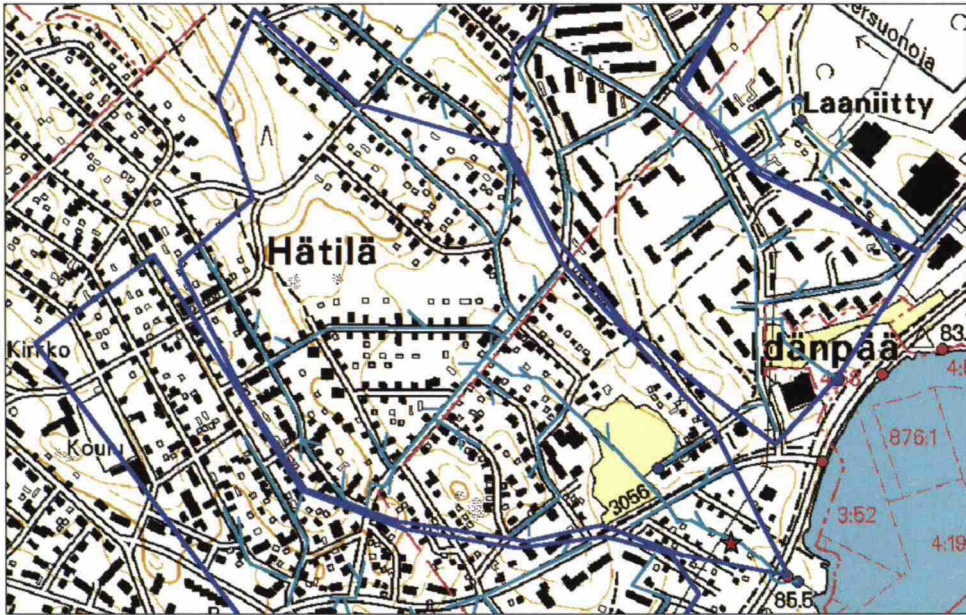
Valuma-alueen pinta-ala on 57,8 hehtaaria ja se on toiseksi suurin järveä ympäröivistä sadevesiviemäroidyistä valuma-alueista. Alueella on pääasiassa pientaloja sekä muutamia kerrostaloja, ja kadut ovat joko asfaltoituja, sirotepintaisia tai päällystämättömiä (Hämeenlinnan kaupungin mittaustoimisto 2003). Tässä myös päällystämättömät eli sorapintaiset tiet oletettiin läpäisemättömiksi, sillä vesi ei pääse imeytymään soratiehen sateen yhteydessä niin nopeasti, ettei se muodostaisi pintavaluntaa. Rakennetun alueen osuus selvitettiin digitoimalla rakennukset ja tiet

MapInfo Professional -ohjelmaan, laskemalla kartalta rakennusten ja teiden yhteenlaskettu pinta-ala ja jakamalla tulos koko valuma-alueen alalla. Rakennetun alan osuudeksi valuma-alueella saatiin 22 %. Viemärien pituus laskettiin samoin kartalta, ja sadevesiviemäriverkoston pituudeksi alueella saatiin 5,1 km.



Kuva 4. Idänpään sadevesiviemäristö purkautuu Rauhalanojaan maaliskuussa 2004

Hämeenlinnan Seudun Vesi Oy:n avustuksella valittiin sadevesikaivo virtaaman mittausta ja näytteenottoa varten. Kaivo sijaitsi suoralla putken osalla noin 130 metriä ennen purkupaikkaa, ja kaivoon tuleva ja siitä lähtevä putki olivat halkaisijaltaan 600 mm betoniputkia. Mittari asennettiin kaivon kautta tuloputken suulle, ja samasta kaivosta otettiin myös vesinäytteet. Kuvassa 5 on esitetty Rauhalanojan valuma-alue tummansinisillä viivoilla ja sadevesiviemärit turkooseilla viivoilla. Alueen veden purkautuvat kuvassa alas oikealle. Näytteenottokaivo on merkitty karttaan punaisella tähdellä.



Kuva 5. Rauhalanojan valuma-alue

5.2 Virtaamamittausten suoritus

Silmämääräisesti lumen sulamisen havaittiin alkaneen viikolla 11, 8.3.04 alkaen. Virtaamamittari piti asentaa paikoilleen 22.3.04, mutta laitteen rikkoontumisen vuoksi se pystyttiin toimittamaan vasta 26.3.2004. Mittari oli paikoillaan hieman yli kolme viikkoa, 19.4.2004 asti. Käytössä oli akkutoiminen Flo-Tote – virtaamamittari, jonka toimitti Suomen Putkistotarvike Oy. Se asennettiin sadevesikaivoon tulevaan, halkaisijaltaan 600-millimetrisen betoniputkeen, missä se mittasi vedenkorkeutta paineanturilla ja veden virtausnopeutta elektromagneettisella anturilla. Mittaria asennettaessa laitteelle syötettiin putken halkaisija ja mittaustiheys. Mittalaite laski virtaaman kaavalla

$$Q = A \cdot v \quad (8)$$

missä A on todellinen vesipinta-ala, joka laskettiin kullekin ajanhetkelle vedenkorkeuden ja putken halkaisijan avulla, ja v veden virtausnopeus. Mittaustiheydeksi asetettiin 15 minuuttia. Mittaustulokset tallentuivat tiedonkeruulaitteeseen, josta ne olivat purettavissa tietokoneelle analysointia varten. Lisäksi kesäaikana mitattiin manuaalisesti virtaavan veden syvyyttä kaivoon tulevassa putkessa ja laskettiin siitä virtaama seitsemänä sade- ja poutapäivänä.



Kuva 6. Virtaaman mittalaitteen tiedonkeruuyksikkö sadevesikaivossa

5.3 Näytteenotto

Mittarin asennuksen yhteydessä 26.3.04 otettiin ensimmäinen vesinäyte, joka silmämääräisesti näytti varsin kirkkaalta. Myöhemmin lumien sulannan aikana sadevesikaivosta käytiin kolmena päivänä ottamassa näytteitä tunnin välein. 29.3.04 oli aurinkoinen kevätpäivä, lämpötila oli noin +8 astetta ja näytteitä otettiin tasatunnein klo 9-15. Klo 13 näyte oli vielä kirkas, klo 14 ja 15 vesi oli ruskeaa ja sameaa. Virtaama lisääntyi jonkin verran aamupäivästä. 31.3. otettiin näytteitä klo 10–17, ja 5.4. otettiin näytteitä klo 15–19. Yhteensä näytteitä otettiin kaivosta 21 kpl. Näytteet vietiin Hämeenlinnan seudun kansanterveystyön kuntayhtymän ympäristö- ja elintarvikelaboratorioon pääsääntöisesti samana tai seuraavana päivänä. 31.3. näytteet unohtuivat toimiston jääkaappiin melkein viikoksi ennen kuin ne vietiin laboratorioon, ja 5.4. näytteet jäätyivät yön aikana ympäristöosaston ulkovaraston jääkaapissa.

6.4. käytiin ottamassa yksittäiset vesinäytteet järven eteläpuolelta Rantatienojasta Harvialan pientaloalueelta ja Katumanojasta Katuman kerrostaloalueelta, joista molemmista on olemassa myös aikaisempia tuloksia.

Samasta kaivosta otettiin vesinäytteitä myös kesäaikana. Näytteitä otettiin kahdeksana eri päivänä, ja yhteensä niitä otettiin kymmenen. Yleensä näytteitä otettiin yksi päivässä, mutta kahtena päivänä otettiin kaksi näytettä, ensin kaivosta ja ojasta

kosteikon jälkeen sekä toisena päivänä sateen juuri alettua, kun virtaama oli vielä alhainen, ja uudestaan heti kun virtaama alkoi sateen seurauksena kasvaa. Neljä näytettä oli otettu kuivalla jaksolla. Muissa näytteissä sateen vaikutuksesta virtaama oli normaalia suurempi. Seitsemän näytteen yhteydessä mitattiin myös virtaama, joten myös virtaamilla painotetut arvot voitiin laskea näille näytteille. Näytteet vietiin ympäristö- ja elintarvikelaboratorioon tutkittavaksi näytteenottopäivänä.

5.4 Laboratorioanalyysit

Sulanta-ajan vesinäytteistä tutkittiin kuntayhtymän ympäristö- ja elintarvikelaboratoriossa kokonaistyyppi, kokonaisfosfori, kiintoaine ja KMnO_4 -luku, joka mittaa kemiallista hapenkulutusta. Nämä suureet valittiin, jotta tuloksia voitiin verrata Valtakunnallisen hulevesitutkimuksen sekä RYVE-projektin tuloksiin.

Kesäajan näytteille tehtiin pääosin samat analyysit kuin sulanta-ajan näytteille. Kahdesta näytteestä tutkittiin lisäksi fekaaliset streptokokit sekä lämpökestoiset koliformiset bakteerit ja kahdesta näytteestä fosfaattifosfori, sillä fosfori on järven ekosysteemeissä levien kasvun minimitekijä, ja fosfaattifosfori on suoraan leville käyttökelpoisessa muodossa.

Kokonaistyyppi ilmoittaa veden kokonaistyyppipitoisuuden ja siihen sisältyvät kaikki typen eri esiintymismuodot, kuten orgaaninen tyyppi ja epäorgaaniset muodot. Luonnontilaisten kirkkaiden vesien tyyppipitoisuus on 200-500 $\mu\text{g/l}$. Kokonaisfosfori ilmoittaa vedessä olevan fosforin kokonaismäärän. Yleensä fosfori on perustuotannon minimitekijä ja siten tärkeä veden rehevyyden arvioinnissa. Kemiallinen hapenkulutus mittaa vedessä olevien kemiallisesti hapetettavien orgaanisten aineiden määrää. Kiintoaine kuvaa vedessä olevia hiukasmaisia aineita. Kiintoainepitoisuutta lisäävät mm. runsas biomassa näytteessä tai savisamennus. (Oravainen 1999)

6 Tulokset ja niiden analysointi

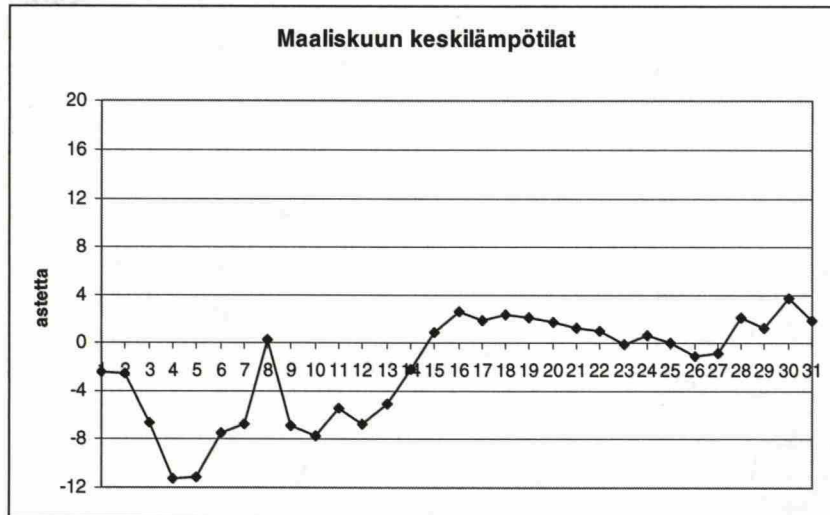
Sadanta ja lämpötila jaksolle 1.3.04–31.7.04 tilattiin Hämeen Tietotekniikkakeskus Oy:n (HTK) tietokannasta, johon se oli tallennettu Hämeenlinnan kaupunginkirjaston katolla sijaitsevasta Vaisalan MAWS101-havaintoasemasta. Asema mittasi molempia suureita minuutin välein, joten tuntisadannat laskettiin edellisen tunnin minuuttiarvojen summana ja lämpötilat vastaavasti keskiarvoina. Lisäksi huhtikuusta eteenpäin tilattiin auringon säteilytehon arvot maa-alueilta tapahtuvan haihdunnan laskemiseksi. Myös säteilytehon minuuttiarvot muutettiin tuntiarvoiksi.

Kymmenen vuoden jakson kuormituksen laskemista varten tilattiin Ilmatieteen laitokselta vuorokausiarvot sadantasummalle, lämpötilan keskiarvolle ja auringon säteilyenergian summalle ajalle 1.1.1994–31.7.2004. Lämpötila ja sadanta saatiin Hattulan Lepaan mittausasemalta ja auringon säteilyenergia Jokioisten observatoriosta, koska Hämeenlinnasta ei löytynyt tarvittavia aikasarjoja.

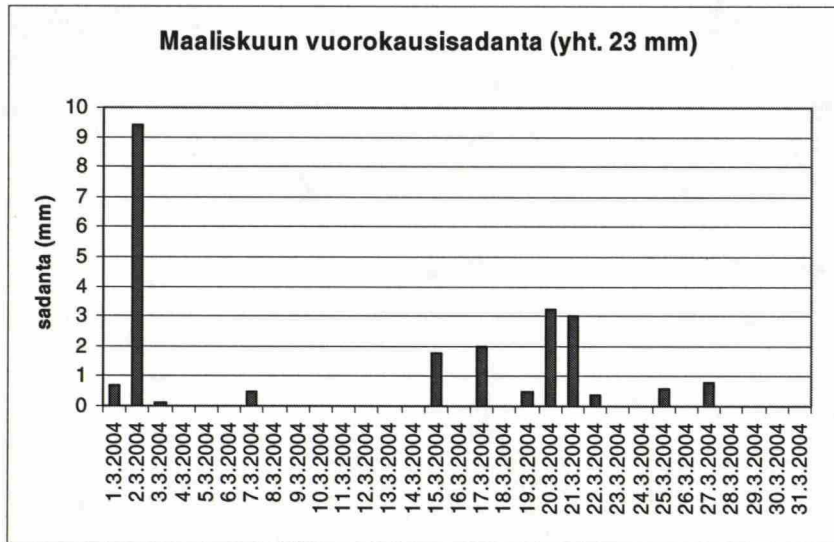
6.1 Sadanta ja lämpötila maaliskuusta heinäkuuhun vuonna 2004

Maaliskuussa satoi HTK:n mukaan yhteensä 106,6 mm. Lämpötilan keskiarvo oli -1,4 astetta, alin lämpötila -17,8 astetta ja ylin lämpötila 10,7 astetta. Suomen ympäristökeskuksen kuukausittaisen vesitilannekatsauksen mukaan maaliskuussa satoi maan etelä- ja keskiosassa pääosin 30–60 mm, joten HTK:n mittarin arvo tuntuu varsin suurelta. Kuvassa 7 on maaliskuun lämpötilat ja kuvassa 8 maaliskuun sadanta.

Ilmatieteen laitoksen vuorokausiarvojen mukaan maaliskuussa satoi 23 mm. Sadepäiviä oli 12. Vuorokautisten keskilämpötilojen keskiarvo oli -1,9 astetta, pienin vuorokausikeskiarvo oli -11,3 astetta ja korkein vuorokausikeskiarvo oli 3,7 astetta.



Kuva 7. Maaliskuun vuorokausien keskilämpötilat Ilmatieteen laitoksen mukaan

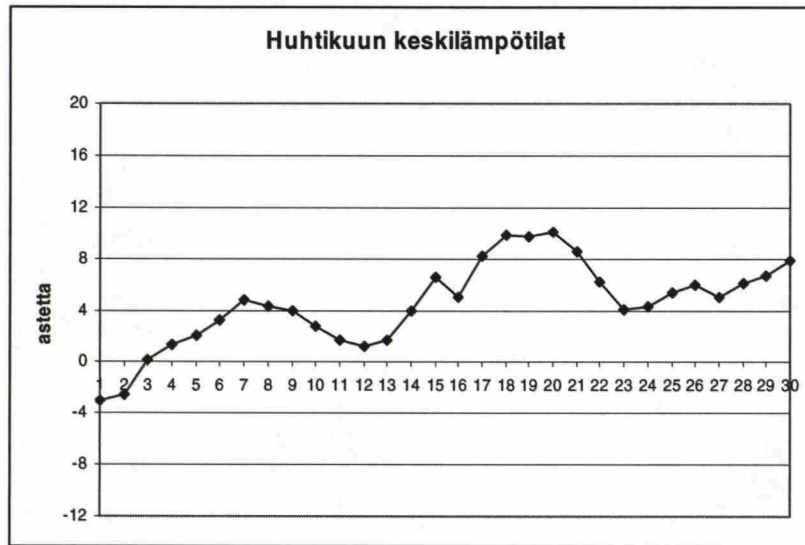


Kuva 8. Maaliskuun sadanta Ilmatieteen laitoksen vuorokausiarvojen mukaan

Huhtikuun keskilämpötila oli HTK:n mukaan 5,3 astetta, minimilämpötila -9,6 astetta ja maksimilämpötila 17,9 astetta. Sadetta tuli yhteensä 2,8 mm. Kuukausittaisen vesitilannekatsauksen mukaan Etelä- ja Länsi-Suomessa satoi alle 10 mm. Kuvassa 9 on huhtikuun lämpötilat ja kuvassa 10 huhtikuun sadanta.

Ilmatieteen laitoksen vuorokausiarvojen mukaan huhtikuussa satoi 6,5 mm. Sadepäiviä oli 3. Vuorokautisten keskilämpötilojen keskiarvo oli 4,5 astetta, pienin vuorokausikeskiarvo oli -3,0 astetta ja korkein vuorokausikeskiarvo oli 10,1 astetta.

Mittarin ollessa paikallaan 26.3.-19.4. satoi Ilmatieteen laitoksen mukaan yhteensä 6,7 mm.

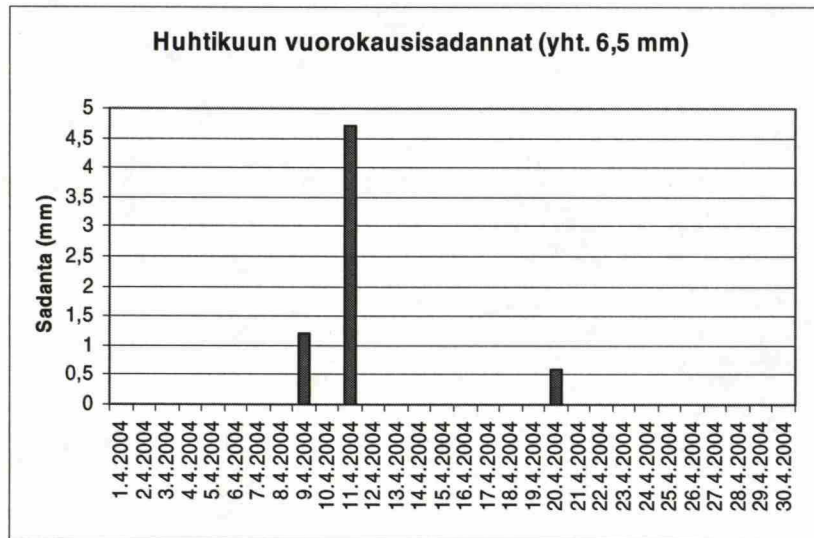


Kuva 9. Huhtikuun vuorokausien keskilämpötilat Ilmatieteen laitoksen mukaan

Toukokuun alussa oli hyvin lämmintä, ja lämpötila kohosi viitenä peräkkäisenä päivänä lähes 25 asteeseen ja jopa yli hellerajan. Lämpimän jakson jälkeen päivän ylin lämpötila putosi vuorokaudessa 10 asteeseen ja yölämpötilat laskivat nollan alapuolelle.

Toukokuun ylin lämpötila oli HTK:n mukaan 26,2 astetta ja alin -1,7 astetta.

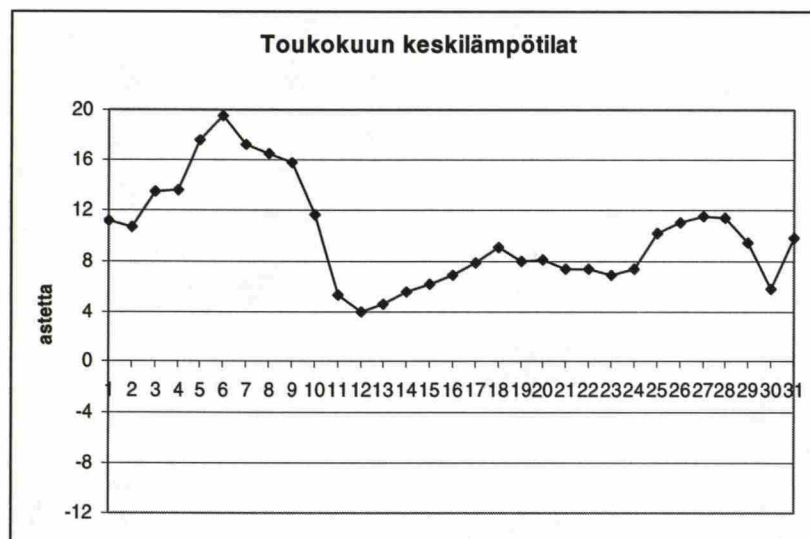
Keskilämpötila oli 10,2 astetta ja sadetta saatiin 52 mm. Kuukausittaisen vesitilannekatsauksen mukaan maan eteläosissa satoi pääosin 30-60 mm, joten sademittarin arvo lienee oikea. Kuvassa 11 on toukokuun lämpötilat ja kuvassa 12 toukokuun sadanta.



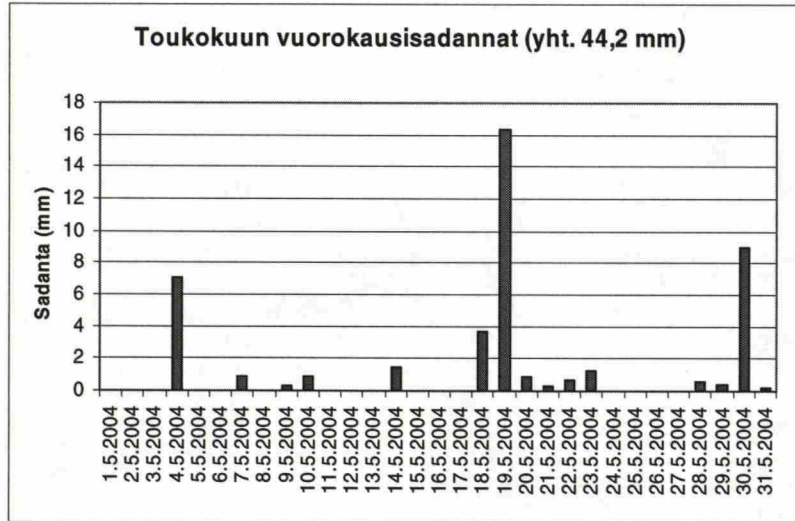
Kuva 10. Huhtikuun sadanta Ilmatieteen laitoksen vuorokausiarvojen mukaan

Ilmatieteen laitoksen vuorokausiarvojen mukaan toukokuussa satoi 44,2 mm.

Sadepäiviä oli 15. Vuorokautisten keskilämpötilojen keskiarvo oli 10,0 astetta, pienin vuorokausikeskiarvo oli 4,0 astetta ja korkein vuorokausikeskiarvo oli 19,5 astetta.



Kuva 11. Toukokuun vuorokausien keskilämpötilat Ilmatieteen laitoksen mukaan

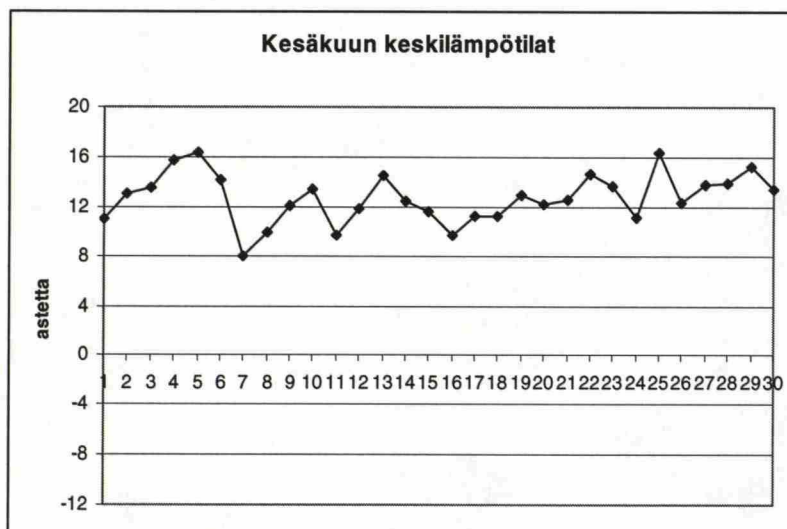


Kuva 12. Toukokuun sadanta Ilmatieteen laitoksen vuorokausiarvojen mukaan

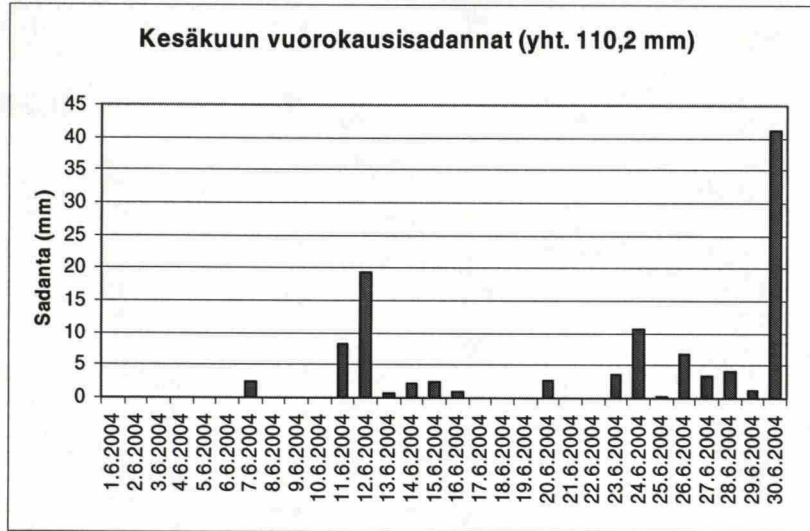
Kesäkuussa satoi HTK:n mukaan yhteensä 106,2 mm. Suomen ympäristökeskuksen kuukausittaisen vesitilannekatsauksen mukaan kesäkuussa satoi yleisesti 40-120 mm, joten arvo pitäneen paikkansa. Kesäkuun keskilämpötila oli HTK:n mukaan 13,0 astetta, minimi 3,9 astetta ja maksimi 23,5 astetta. Kuvassa 13 on kesäkuun lämpötilat ja kuvassa 14 kesäkuun sadanta.

Ilmatieteen laitoksen vuorokausiarvojen mukaan kesäkuussa satoi 110,2 mm.

Sadepäiviä oli 17. Vuorokautisten keskilämpötilojen keskiarvo oli 12,7 astetta, pienin vuorokausikeskiarvo oli 8,0 astetta ja korkein vuorokausikeskiarvo oli 16,4 astetta.



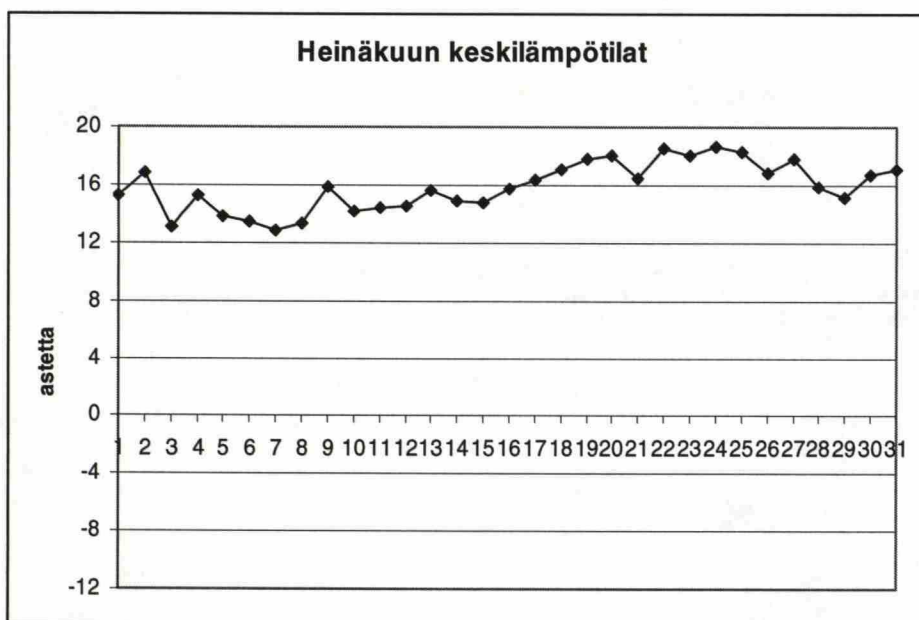
Kuva 13. Kesäkuun vuorokausien keskilämpötilat Ilmatieteen laitoksen mukaan



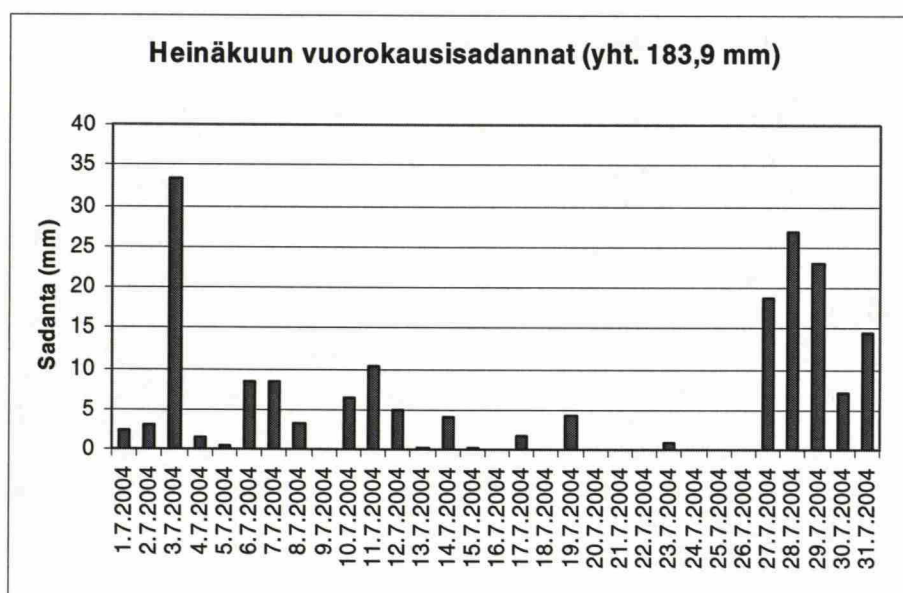
Kuva 14. Kesäkuun vuorokausisadannat Ilmatieteen laitoksen mukaan

Heinäkuussa satoi HTK:n mukaan yhteensä 248 mm. Keskilämpötila oli 16,7 astetta, minimi 7,8 astetta ja maksimi 24,9 astetta. Suomen ympäristökeskuksen kuukausittaisen vesitilannekatsauksen mukaan Kokemäenjoen vesistöalueella aluesadanta oli heinäkuussa 129 mm. Kokemäenjoen aluesadannan ennätys heinäkuulle on Suomen ympäristökeskuksen mukaan 167 mm vuodelta 1979. Yli 200 mm satoi heinäkuussa 2004 Vantaan vesistöalueella.

Ilmatieteen laitoksen vuorokausiarvojen mukaan heinäkuussa satoi 183,9 mm. Sadepäiviä oli 22. Vuorokautisten keskilämpötilojen keskiarvo oli 15,9 astetta, pienin vuorokausikeskiarvo oli 12,8 astetta ja korkein vuorokausikeskiarvo oli 18,7 astetta. Kuvassa 15 on heinäkuun lämpötilat ja kuvassa 16 heinäkuun sadanta.



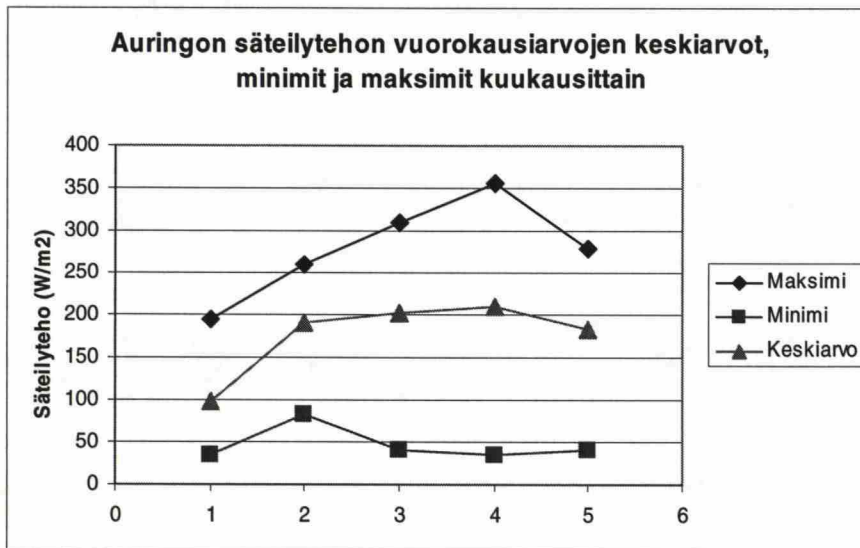
Kuva 15. Heinäkuun vuorokausien keskilämpötilat Ilmatieteen laitoksen mukaan



Kuva 16. Heinäkuun vuorokausisadannat Ilmatieteen laitoksen mukaan

6.2 Auringon säteilyteho

Auringon säteilyenergiaa vuorokautta kohti ($\text{MJ/m}^2/\text{d}$) mitattiin Jokioisten observatoriossa. Kuvassa 17 on muutettu säteilyenergia keskimääräiseksi säteilytehoksi neliometriä kohti (W/m^2) ja laskettu vuorokausiarvoista kuukausittaiset keskiarvot ja maksimi- ja minimiarvot maaliskuusta heinäkuuhun. Pilvinen ja sateinen heinäkuu näkyy kuvassa kesäkuuta alempina arvoina.

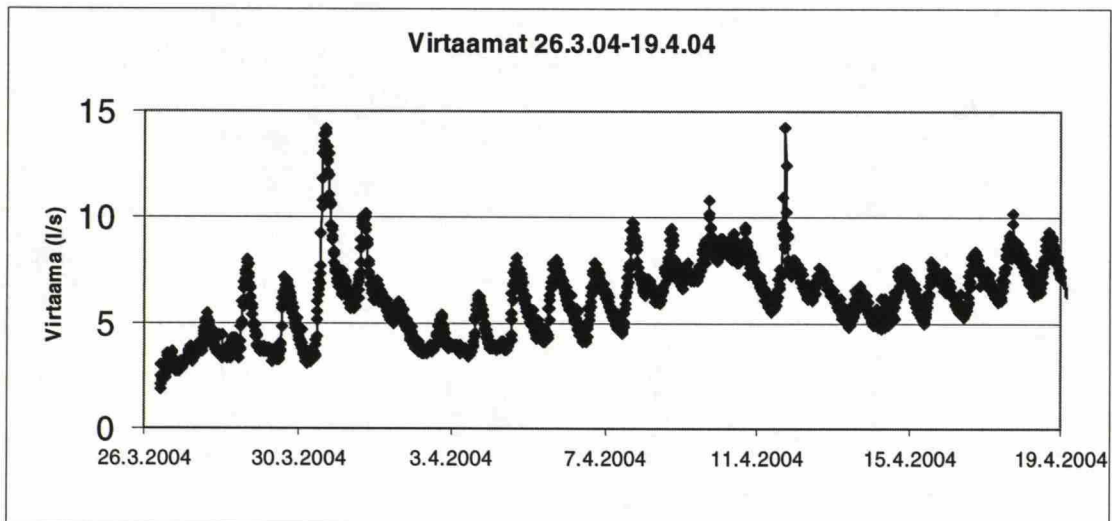


Kuva 17. Auringon säteilytehon vuorokausiarvojen keskiarvot, minimit ja maksimit kuukausittain maaliskuusta heinäkuuhun

6.3 Sulanta-ajan virtaamat

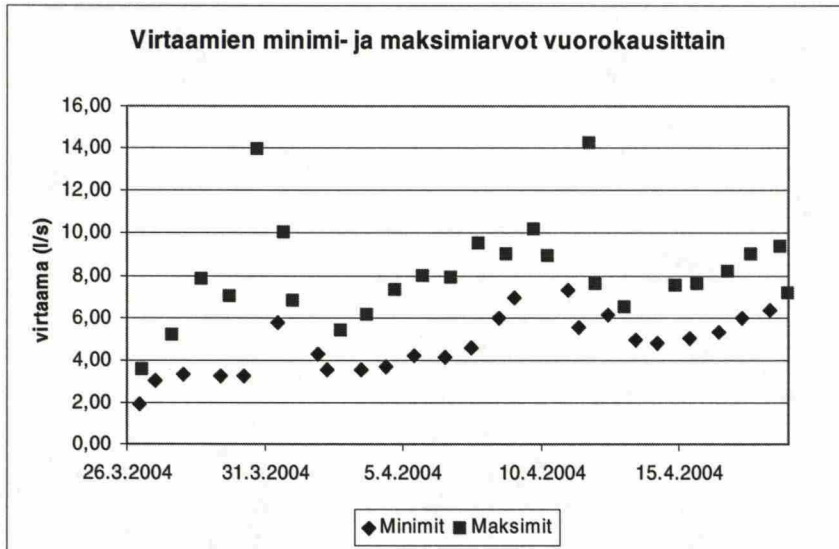
Flo-Tote –mittalaitteeseen tallennetut virtaamat purettiin Microsoft Excel-taulukkolaskentaohjelmaan mittarin toimittaneen Suomen Putkistotarvike Oy:n toimesta. Virtaamia oli mitattu 15 minuutin välein, joten havaintoja kertyi keväältä 2301 kpl. Virtaamat ajalla 26.3.04 - 19.4.04 vaihtelivat välillä 1,90 l/s – 14,22 l/s. Valunnaksi muutettuna vaihteluväli on 0,012 mm/h – 0,088 mm/h. Keskiarvo oli 6,09 l/s (0,038 mm/h) ja keskihajonta 1,80 l/. Variaatiokerroin eli arvojen keskimääräinen vaihtelu keskiarvon ympärillä oli siten 29,5 %. Virtaamien mediaani oli 6,20 l/s. Virtaamahuippu ajoittui iltapäivään ja oli alimmillaan yöllä ja aamupäivällä. Kevät oli lämmin ja aurinkoinen, ja lumet sulivat hyvin tasaisesti. 75 % havainnoista oli alle 7,2 l/s ja 90 % havainnoista alle 8,33 l/s. Yhteensä vettä virtasi sadevesikaivossa mittausaikana 12

600m³, joka vastaa 21,8 mm vesikerrosta valuma-alueella. Alhainen sulantaveden määrä ja loppuun asti jatkunut virtaaman selvä vuorokausivaihtelu tarkoittavat, että sulantaa tapahtui myös mittausjakson ulkopuolella. Muutamaa yksittäistä virtaamahuippua lukuun ottamatta päivien huippuarvot olivat varsin tasaisia, eikä mittausjaksolle osunut yhtäkään selvää huippusulantapäivää. Huippuvirtaamat eivät osuneet niille päiville, jolloin kaivolla oltiin ottamassa vesinäytteitä. Jälkimmäinen huippu selittyy sadetapahtumalla, sen sijaan ensimmäisen huipun aikana 30.3. ei satanut eikä lämpötilan perusteella sulantaakaan tapahtunut erityisen paljon. Kuvassa 18 on esitetty mittalaitteeseen 15 minuutin välein tallentuneet virtaamat.



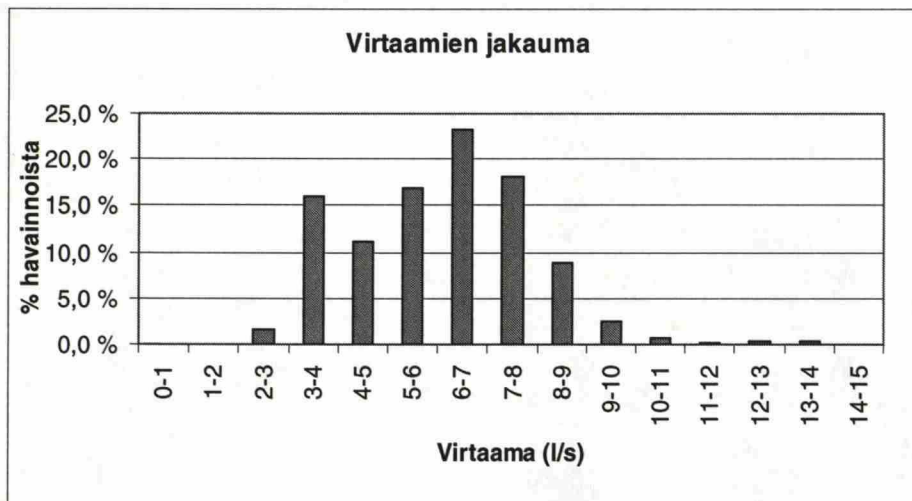
Kuva 18. Kevään mittausajan virtaamat sadevesikaivossa (n=2301)

Vuorokauden virtaaman minimi- ja maksimi-arvon (kuva 19) erotus oli keskimäärin 3,54 l/s keskihajonnalla 2,12 l/s. Minimien ja maksimien suurin erotus oli 10,71 l/s (30.3.2004) ja pienin erotus 1,45 l/s (12.4.2004).



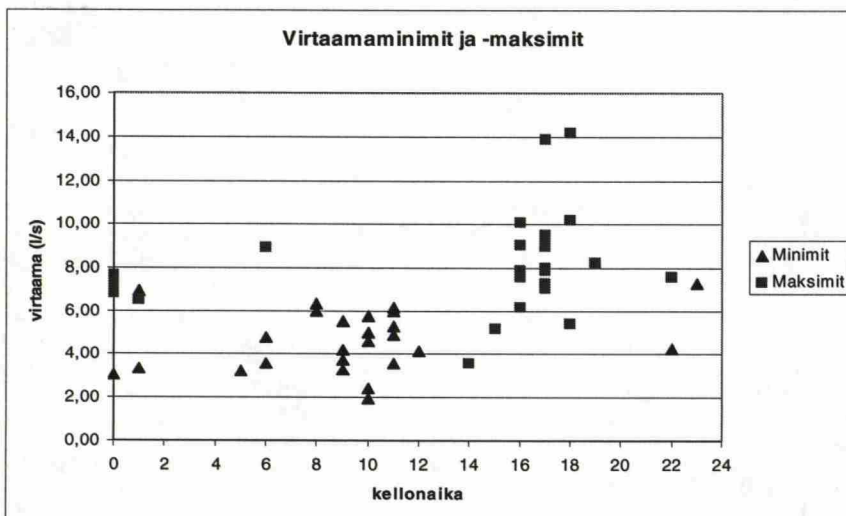
Kuva 19. Virtaamien minimit ja maksimit vuorokausittain

Kun virtaama-aineisto jaettiin viiteentoista suuruudeltaan 1 l/s luokkiin välillä 0..15 l/s, eniten havaintoja (23,3%) osui luokkaan 6...7 l/s. Luokkaan 7...8 l/s osui 18,2 % havainnoista ja luokkaan 5...6 l/s 16,8 % havainnoista. Virtaama ylitti arvon 10 l/s 1,6 %:ssa havainnoista. Virtaamien jakauma on vino oikealle, kuten hydrologisissa aikasarjoissa yleensä onkin (kuva 20).



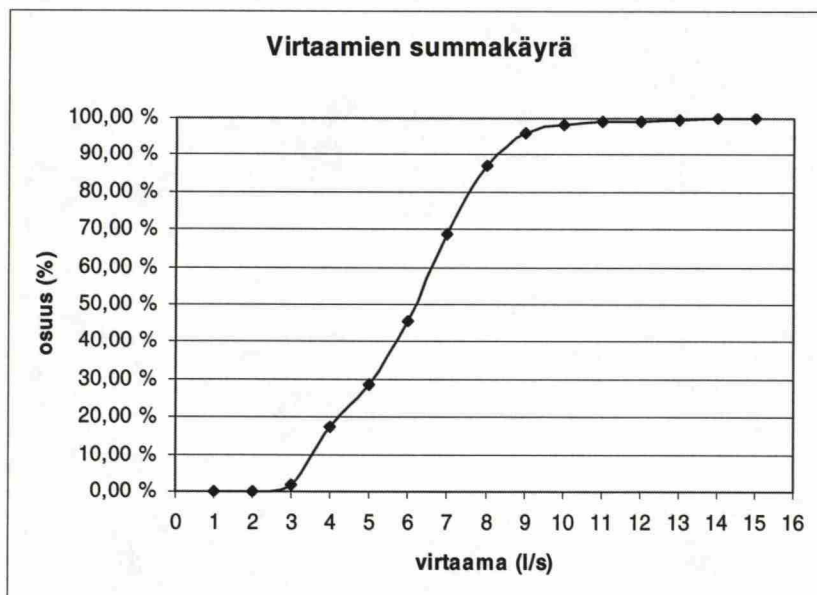
Kuva 20. Sulanta-ajan virtaamien jakauma

Kuvasta 21 käy ilmi, että vuorokauden virtaamien minimien esiintyminen painottui aamupäivään välille 8-12 ja maksimit esiintyivät iltapäivisin välillä 16-18.



Kuva 21. Virtaaman minimien ja maksimien esiintyminen kellonajan mukaan

Kuvassa 21 on esitetty havaittujen virtaamien kumulatiivinen jakauma.



Kuva 22. Sulanta-ajan virtaamien summakäyrä

Koska sadevesiviemärissä virtasi kevätkaudella vettä myös pakkasella, jolloin sulantaa ei tapahtunut, todettiin että todennäköisesti putki toimii salaojana, johon pääsee sadevesiviemärien tuoman veden lisäksi myös maa- ja pohjavettä. Maa- ja pohjavesivarasto toimii siten hulevesien hidastajana ja laimentajana, sillä maan kautta suodattunut vesi on puhtaampaa kuin suoraan kaduilta ja muilta pinnoilta viemäriin virtaava vesi.

6.3.1 Pinnankorkeuden ja virtaaman välinen yhteys

Virtaama korreloi voimakkaasti putken vesisyvyyden kanssa (kuva 22).

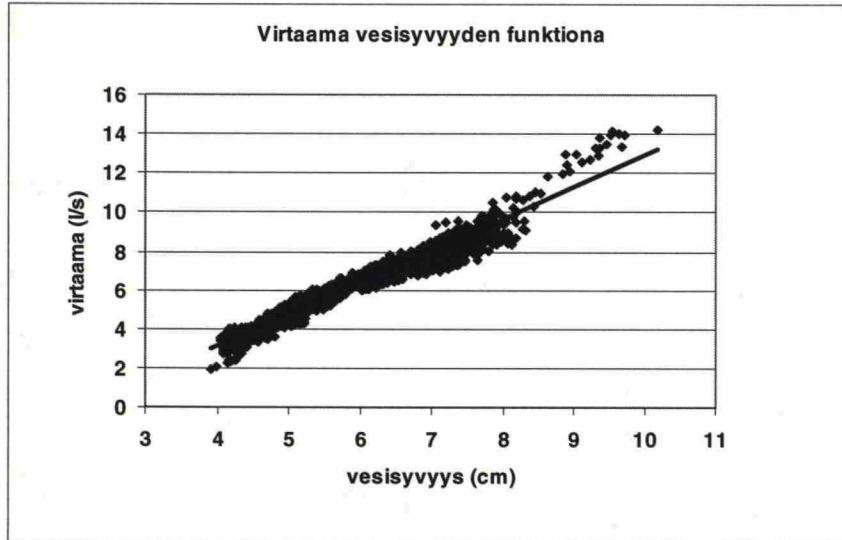
Korrelaatiokerroin on 0,97. Excel-taulukkolaskentaohjelman pienimmän neliösumman menetelmään perustuvalla regressiosuoran sovituksella saatiin virtaaman ja vesisyvyyden yhteydeksi

$$Q = 1,63h - 3,40 \quad (9)$$

missä h on putken vesisyvyys senttimetreinä mitattuna kaivon tuloputken pohjasta.

Virtaama saadaan litroina sekunnissa. Selitysaste R^2 on 0,95, mikä tarkoittaa että kaava selittää 95 % virtaaman kokonaisvaihtelusta. Koska pisteet asettuvat näin hyvin suoralle, voidaan vedenpinnan korkeutta käyttää luotettavasti virtaaman määrittämiseen.

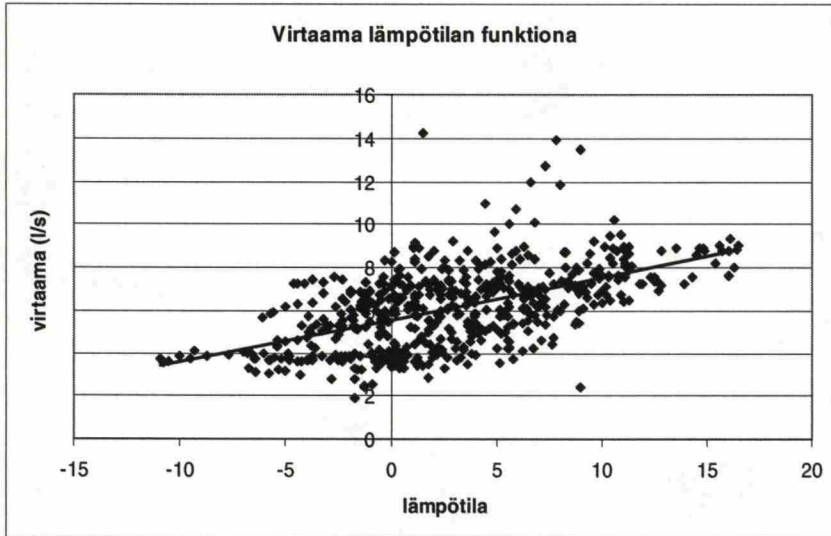
Tätä tietoa käytettiin hyväksi kesäaikaisissa virtaaman mittauksissa. Havaintojen alin vedenkorkeus oli 3,91 cm, joka on luultavasti anturiosan korkeus, joten tätä alhaisempien vedenkorkeuksien aiheuttamaa virtaamaa ei tiedetä, paitsi jos oletetaan funktio lineaariseksi myös tätä pienemmillä vedenkorkeuden arvoilla. Kuvassa 22 näkyvät sekä mitatut vedenkorkeudet ja niitä vastaavat virtaamat että havaintoihin sovitettu suora (kaava 9).



Kuva 23. Virtaaman ja vesisyvyyden välinen yhteys (n=2301)

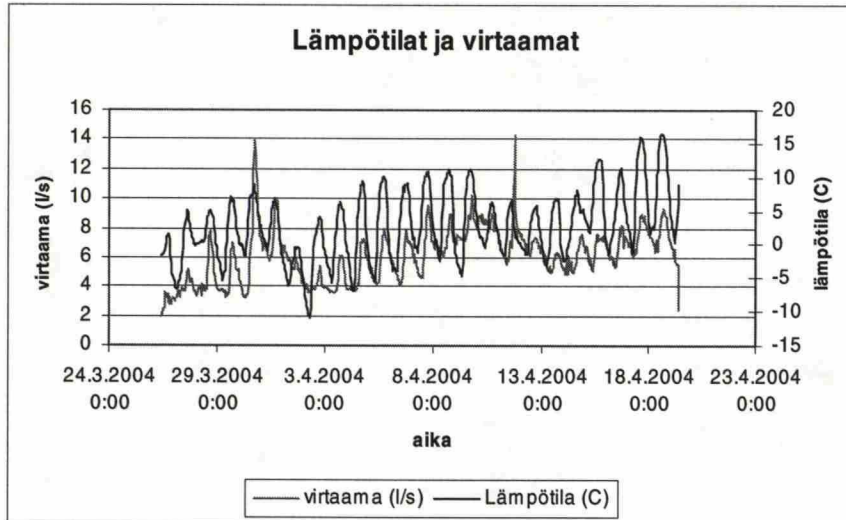
6.3.2 Virtaamien korrelaatio lämpötilan kanssa

Koska lämpötilat olivat tiedossa tunnin välein, virtaamahavainnoista poimittiin analyysihin vain tasatuntien arvot, joita oli 576 kpl. Virtaaman ja lämpötilan korrelaatio on 0,56 P-arvolla 0,00, joten korrelaatiokerroin eroaa tilastollisesti merkittävästi nolasta. Maurasen (1995) esittämien rajojen mukaan korrelaatio on kohtalainen. Kullekin ajanhetkelle laskettiin lisäksi sitä edeltävän vuorokauden (24 tunnin) lämpötilojen summa sekä yli nollan olevien lämpötilojen summa. Tässä analyysissä oli mukana 553 arvoa, koska ensimmäiseltä havaintopäivältä ei edeltävän vuorokauden lämpötilasummaa ollut mahdollista laskea tietojen puuttumisen vuoksi. Virtaama korreloi edellisen vuorokauden nollan ylittävien lämpötilojen summan kanssa arvolla 0,49 P-arvolla 0,00 ja edellisen vuorokauden kaikkien lämpötilojen summan kanssa arvolla 0,55 P-arvolla 0,00. Kaikki nämä korrelaatiot ovat kohtalaisia. Virtaama korreloi kellonajan kanssa vähäisesti arvolla 0,27, P-arvo 0,00, joten tämäkin korrelaatiokerroin poikkeaa tilastollisesti merkittävästi nolasta.



Kuva 24. Virtaama lämpötilan funktiona ($r=0,56$)

Korrelaatiot eivät nouse kovin suuriksi, koska sulannan ja havaitun virtaaman välillä on viive, joka johtuu veden liikkumisesta eri varastojen kautta ennen laskuputkea. Piirtämällä samaan kuvaajaan lämpötila, josta sulanta suoraan riippuu, sekä mitattu virtaama voidaan todeta, että virtaama noudattelee lämpötilan kuvaajaa, mutta huippujen välillä on jopa useiden tuntien viive (kuva 25). Keskimääräinen viive vuorokauden lasketun sulannan maksimin ja havaitun virtaaman maksimin välillä oli 1,2 tuntia, minimi oli -2 tuntia ja maksimi 6 tuntia. 23 mittauspäivänä yleisin viiveen arvo oli yksi tunti (10 päivänä). Viitenä päivänä viive oli 2 tuntia ja neljänä päivänä sulanta- ja valuntahuippu ilmenivät yhtä aikaa. Kahtena päivänä viive oli negatiivinen eli virtaamahuippu näkyi ensin ja vasta sitten sulannan huippu. Kummallakaan kerralla ei satanut, joten selitykseksi jää mittausvirhe jossakin suureista.



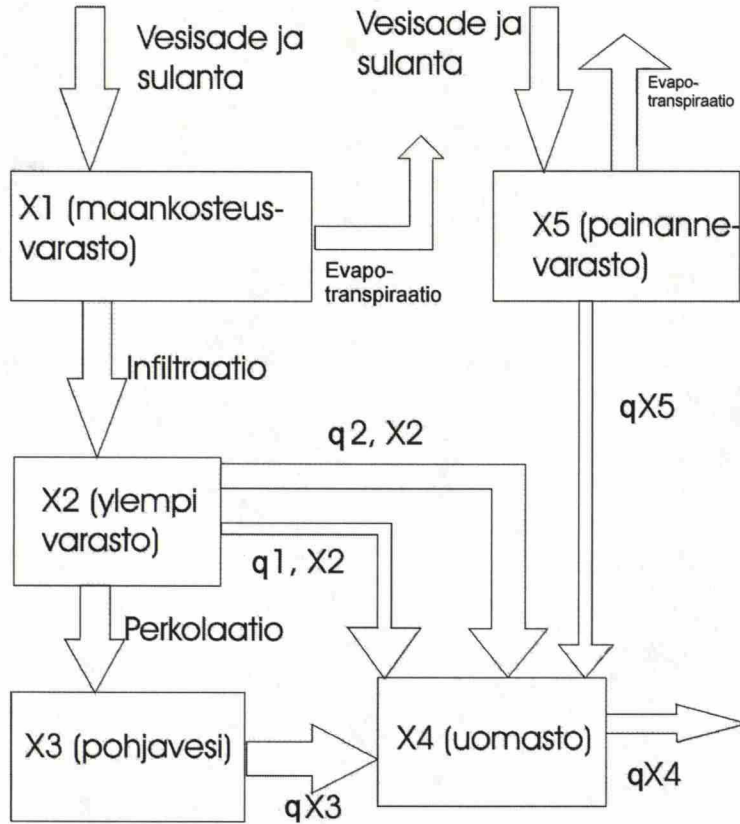
Kuva 25. Valuntahuiput ja lämpötilat

6.4 Sulanta-ajan virtaaman mallinnus

6.4.1 HBV-malli

Virtaaman mallintamisessa käytettiin HBV-mallin yksinkertaistettua versiota (Karvonen 2003). Siinä vedentuotto (sadanta ja sulanta) päätyvät maankosteusvarastoon X_1 , mistä vesi imeytyy ylempään varastoon X_2 . Mitä lähempänä varaston X_1 arvo on maksimiarvoaan, sitä enemmän vettä infiltroituu ns. ylempään varastoon X_2 . Ylemmästä varastosta X_2 vesi voi joko suotautua pohjavesivarastoon X_3 tai valua ns. uomavarastoon X_4 . Koska kyseessä on kaupunkimainen alue, jolla on myös rakennettua, vettä huonosti läpäisevää alaa, lisättiin HBV-malliin ns. painannesäilyntävarasto X_5 , josta vesi valuu uomavarastoon X_4 . Painannesäilyntävaraston ajatellaan tarkoittavan sekä asfaltille kertyvää vettä että sadevesiviemärien vettä ennen kuin vesi purkautuu pääviemäriin. Sekä maankosteusvarastosta X_1 että painannevarastosta X_5 tapahtuu haihduntaa, joka riippuu potentiaalisesta evapotranspiraatiosta ja varaston X_1 koosta.

Myös pohjavesivarasto purkautuu vähäisessä määrin uomiin. Kullakin varastolla on oma purkautumiskertoimensa. Varastoista yhteensä purkautuva valunta q_{x4} saadaan laskettua kertomalla uomavaraston X_4 koko sen purkautumiskertoimella. Kuvassa 26 on esitetty HBV-mallin varastot ja niiden väliset valunnat.



Kuva 26. HBV-mallin varastot ja niiden väliset valunnat

Mallille annetaan lähtötietoina sadanta (mm) ja sulanta (mm) sekä lämpötilasta ja auringon säteilytehosta laskettu potentiaalinen evapotranspiraatio (mm). Sulannan määrä millimetreinä vuorokaudessa voidaan lämpötilan perusteella laskea kaavalla

$$M_i = K_M \cdot (T - T_R) \quad (10)$$

missä M_i on sulanta millimetreinä vuorokaudessa, K_M on astepäivätekijä ($\text{mm}^\circ\text{C}^{-1}\text{d}^{-1}$), yleensä aukeilla paikoilla sen arvo on $2\ldots 4 \text{ mm}^\circ\text{C}^{-1}\text{d}^{-1}$, T mitattu ilman lämpötila celsiusasteina ja T_R kynnyslämpötila ($^\circ\text{C}$). Koska tässä laskettiin sulannan tuntiarvoja, astepäivätekijä jaettiin arvolla 24. Sadanta jaettiin vesisateeksi ja lumivarastoa kasvattavaksi lumisateeksi ilman lämpötilan perusteella siten, että rajana käytettiin lämpötilaa 0°C . Sulantaa tapahtui, kunnes lumivaraston arvo laski nollaan.

Maankosteusvaraston X_1 muutos aikayksikköä kohti ilmaistaan kaavalla

$$\frac{dX_1(t)}{dt} = YIELD(t) - Es(t) - INF(t) \quad (11)$$

missä $YIELD(t)$ (mm/h) on vesisateen ja sulannan summa, $Es(t)$ evapotranspiraatio (mm/h) ja $INF(t)$ infiltraatio (mm/h). $Es(t)$ lasketaan kaavalla

$$Es(t) = EPOT(t) \left(\frac{X_1(t)}{LP} \right) \quad (12)$$

missä $EPOT(t)$ on potentiaalinen evapotranspiraatio. Se lasketaan käyttäen Makkinkin kaavaa (Vakkilainen 1982)

$$EPOT(t) = \alpha R_s \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \quad (13)$$

missä α on muuntokerroin ($\alpha=0,65$), R_s on auringon globaalisäteily ($\text{MJ/m}^2/\text{d}$), Δ on vesihöyryn painekäyrän kaltevuus ja γ psykrometrivakio. Vesihöyryn painekäyrän kaltevuus lasketaan kaavalla

$$\Delta = \frac{4098,17}{(T + 237,3)^2} 6,11 \exp\left(\frac{17,27T}{T + 237,3}\right) \quad (14)$$

missä T on ilman lämpötila ($^{\circ}\text{C}$) (Karvonen 2003).

LP (mm) on se maankosteus, jolla evapotranspiraatio on suurimmillaan.

Infiltraatio lasketaan kaavalla

$$INF(t) = YIELD(t) \left(\frac{X_1(t)}{MVAK} \right)^{EX} \quad (15)$$

missä $MVAK$ on maankosteuden maksimiarvo ja EX parametri.

Ylemmän varaston X_2 muutos aikayksikköä kohti lasketaan kaavalla

$$\frac{dX_2(t)}{dt} = INF(t) - q_{1,X_2}(t) - q_{2,X_2}(t) - PERC \quad (16)$$

missä

$$q_{1,X_2}(t) = K_1 X_2(t) \quad (17)$$

ja

$$q_{2,X_2}(t) = \begin{cases} 0; & jos X_2(t) \leq X_{2LIM} \\ K_{1,2}(X_2 - X_{2LIM})(t); & jos X_2(t) > X_{2LIM} \end{cases} \quad (18)$$

missä K_1 ja $K_{1,2}$ ovat purkautumiskertoimia ja X_{2LIM} on varaston koko, jota suuremmilla arvoilla tapahtuu valuntaa q_{2,X_2} .

Perkolaatio eli suotautuminen pohjavedeksi saadaan kaavasta

$$PERC = K_{PERC} X_2(t) \quad (19)$$

Pohjavesivaraston X_3 muutos aikayksikköä kohti lasketaan kaavalla

$$\frac{dX_3(t)}{dt} = PERC - q_{X_3}(t) \quad (20)$$

missä

$$q_{X_3}(t) = K_2 X_3(t) \quad (21)$$

Painannevaraston X_5 muutos aikayksikössä saadaan kaavasta

$$\frac{dX_5(t)}{dt} = YIELD - K_{pain} X_5(t) - Es_p(t) \quad (22)$$

missä painanteista tapahtuva haihdunta $Es_p(t)$ lasketaan kaavalla

$$Es_p(t) = \begin{cases} 0,9 \cdot Es(t) \text{ jos } X_5 > Es(t) \\ 0,9 \cdot X_5 \text{ jos } X_5 < Es(t) \end{cases} \quad (23)$$

Uomavaraston X_4 muutos aikayksikössä saadaan kaavasta

$$\frac{dX_4(t)}{dt} = q_{1X2}(t) + q_{2X2}(t) + q_{X3}(t) + k_{pain} X_5(t) - CALCRUN(t) \quad (24)$$

missä

$$CALCRUN(t) = K_C X_4(t) \quad (25)$$

on koko systeemistä ulos purkautuva valunta.

Yleisesti vesivaraston S koon (mm) muutos aikayksikköä kohti voidaan ilmaista differentiaaliyhtälöllä

$$\frac{dS}{dt} = \sum I(t) - \sum O(t) \quad (26)$$

missä $\sum I(t)$ on kyseiseen varastoon tulevien vesien summa millimetreinä ja $\sum O(t)$ varastosta purkautuva vesi millimetreinä ilmaistuna.

Differentiaaliyhtälö voidaan ratkaista numeerisesti Eulerin menetelmällä.

$$\frac{dX}{dt} = f(X), X(t=0) = X^0 \quad (27)$$

Tällöin

$$\frac{dX}{dt} \approx \frac{X^{t+1} - X^t}{\Delta t} = f(X^t) \quad (28)$$

jolloin muuttujan X arvo ajanhetkellä $t+1$ saadaan edellisen ajanhetken X :n arvon ja funktion $f(X)$ perusteella seuraavasti

$$X^{t+1} = X^t + \Delta t \cdot f(X^t) \quad (29)$$

Tässä tapauksessa siis

$$f(X) = f(S) = I(t) - O(t) \quad (30)$$

ja Eulerin menetelmän mukaan saadaan varaston koolle ajanhetkellä $t+1$

$$S^{t+1} = S^t + \Delta t \cdot (I(t)^t - O(t)^t) \quad (31)$$

Kaavalla 31 laskettiin varastojen $X_1 - X_5$ koot kullekin ajanhetkelle edellisen aika-askelen sadannan ja sulannan M_i :n sekä edellisen aika-askelen varaston koon perusteella. Tulovirtaamana $I(t)$ käytettiin maankosteusvarastolle sekä painannevarastolle sadantaa ja sulantaa ja alemmille varastoille yläpuolisista varastoista niiden purkautumiskertoimien avulla laskettuja virtaamia. Menovirtaamana $O(t)$ käytettiin varaston purkautumista eli varaston kokoa kerrottuna omalla purkautumiskertoimellaan. Laskettaessa maankosteusvarastoa X_1 kerrottiin sulanta M_i ja sadanta arvolla $1-p_p$, missä p_p on rakennetun alan osuus valuma-alueella, ja laskettaessa painannevarastoa X_5 kerrottiin sulanta M_i ja sadanta arvolla p_p .

Mallin laskemaa virtaamaa CALCRUN(t) verrattiin virtaamamittariin tallentuneisiin virtaamiin, joista oli tähän tarkoitukseen laskettu tunti-arvot ja muutettu ne valunnaksi (mm/h). Mallin parametrit optimoitiin minimoimalla Excel-taulukkolaskentaohjelman Solver-toiminnolla virheiden neliösumma

$$S_{error} = \sum_{i=1}^N (Q(i)_{mitattu} - Q(i)_{laskettu})^2 \quad (32)$$

missä $Q(i)_{mitattu}$ on ajanhetkellä i mittariin tallentunut virtaama ja $Q(i)_{laskettu}$ on mallin ajanhetkelle i laskema virtaama. Mallille laskettiin selitysaste kaavalla

$$R^2 = \frac{S_{DEV,MEAN} - S_{error}}{S_{DEV,MEAN}} \quad (33)$$

missä

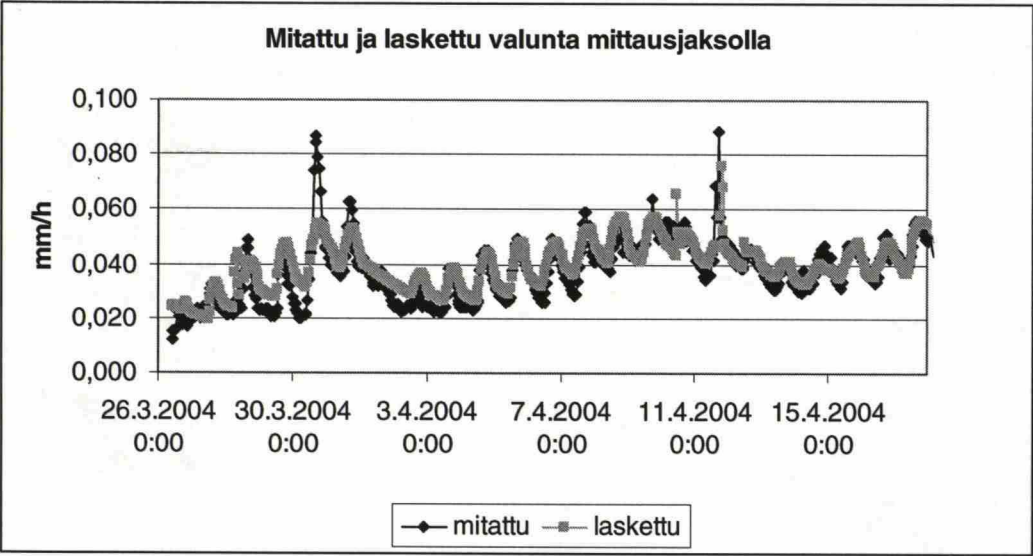
$$S_{DEV,MEANr} = \sum_{i=1}^N (Q(i)_{mitattu} - Q_{keskiarvo,mitattu})^2 \quad (34)$$

missä $Q_{keskiarvo,mitattu}$ on mitattujen virtaamien aritmeettinen keskiarvo. S_{error} saadaan kaavasta 32.

6.4.2 Mallin tulokset

Mallin selitysasteeksi saatiin 0,67, mikä ottaen huomioon lyhyen kalibrointijakson ja tasaiset virtaamahavainnot on hyvä tulos. Mittausjakson 26.3.-19.4. valunnaksi malli laski 22,8 millimetriä, kun mitattu arvo oli 21,8 mm. Mallin mukaan lumi alkoi sulaa 8.3.04 eli juuri silloin kun sulamisen alkaminen havaittiin. Sulanta-ajan yhteenlaskettu valunta on mallin mukaan 45 millimetriä. Vaikka mallin laskemissa virtaamahuipuissa on ajallisesti eroa mitattuihin huippuihin, on valunnan kokonaismäärä kuitenkin oikea. Laskentaa varten HTK:n tietokannan maaliskuun selvästi liian korkea sadanta oli korjattu kertomalla se luvulla 0,33, jolloin se vastasi paremmin Ilmatieteen laitoksen ja SYKEN kuukausittaisen vesitilannekatsauksen maaliskuun sadantaa. Kuvassa 27 on sekä mitattu että mallin laskema tuntivalunta jaksolle 26.3.04-19.4.04. Valunnan arvo 1 mm/h vastaa virtaamaa 160 l/s. Mallin kalibroidut parametrit ovat taulukossa 8.

Viiden kuukauden jaksolle 1.3.-31.7. malli laski kokonaisvalunnaksi 158,7 mm sisältäen pohjavesivalunnan. Jaksolla satoi yhteensä 444 millimetriä, joten lasketuksi kokonaisvalunnan osuudeksi sadannasta saadaan 0,36.



Kuva 27. Mitattu ja laskettu valunta 26.3.04-19.4.04

Taulukko 8. Mallin parametrit

		Annetut alkuarvot
$X_1(0)$	126,8	Maankosteusvaraston koko (mm) hetkellä $t=0$
$X_2(0)$	0,0	Ylemmän varaston koko (mm) hetkellä $t=0$
$X_3(0)$	3,1	Alemman varaston (pohjaveden) koko (mm) kun $t=0$
$X_4(0)$	0,03	Putkistovaraston alkuarvo (mm)
$SWE(0)$	65	Lumen vesiarvon alkuarvo (mm)
dt	1	Aika-askel (tuntia)
		Kalibroidut arvot
T_R	-0,36	Sulannan rajalämpötila
K_M	0,57	Astepäivätekijä
p_p	0,17	Rakennetun alan osuus
MVAK	148	Maankosteusvaraston maksimiarvo
LP	148	Maankosteus jolla evapotranspiraatio on suurimmillaan
EX	8,7	Parametri
KKK1	0,10	Ylemmän varaston X_2 purkautumiskerroin
KKK12	0,31	Toinen ylemmän varaston X_2 purkautumiskerroin
KKK2	0,01	Pohjavesivaraston purkautumiskerroin
KC	0,95	Putkistovaraston purkautumiskerroin
K_{paine}	0,00	Painannevaraston X_5 purkautumiskerroin
X_{2lim}	30	Ylemmän varaston X_2 purkautumisen raja-arvo
K_{PERC}	0,65	Perkolaatiokerroin

6.5 Sulanta-ajan ainepitoisuudet

29.3.04 iltapäivän näytteissä on kokonaisfosforin, KMnO_4 -luvun ja kiintoaineen osalta poikkeuksellisen korkeat arvot. Kokonaistyyppipitoisuudessa ei kuitenkaan ollut erityisesti eroa muihin arvoihin. Ilmiö havaittiin myös silmämääräisesti, vesi oli klo 14 selvästi ruskeaa, kun se yleensä oli varsin kirkasta. Nämä poikkeuksellisen korkeat arvot päätettiin jättää pois tilastollisista analyyseistä. Taulukossa 9 on minimipitoisuudet alleviivattu ja maksimipitoisuudet kursivoitu.

Taulukko 9. Sulanta-ajan vesinäytteiden ainepitoisuudet Rauhalanojassa

Päivä	Kello	Ilman lämpötila	Virtaama	Kokonaistyyppi	Kokonaisfosfori	KMnO_4	Kiintoaine	Fosfaattifosfori
		°C	l/s	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	µg/l
26.3.2004	10:15	-1,7	1,90	3 800	34	26	5,80	22,00
29.3.2004	9:00	-0,7	3,28	4 000	46	29	4,20	
29.3.2004	10:00	0,6	3,58	4 000	45	31	3,80	
29.3.2004	11:00	2,5	3,29	4 000	50	30	3,00	
29.3.2004	12:00	5,1	3,52	3 800	48	30	3,00	
29.3.2004	13:00	5,8	3,74	3 600	46	28	5,60	
29.3.2004	14:00	poistettu		4 200	660	89	710,00	
29.3.2004	15:00	poistettu		3 000	380	76	350,00	
31.3.2004	10:00	2,3	5,74	4 200	56	35	4,00	
31.3.2004	11:00	3,5	6,23	4 200	55	34	5,00	
31.3.2004	12:00	5,1	6,03	4 400	57	41	5,40	
31.3.2004	13:00	5,8	6,77	4 000	74	37	13,00	
31.3.2004	14:00	6,3	6,90	3 500	93	35	18,00	
31.3.2004	15:00	6,5	8,58	3 300	130	36	44,00	
31.3.2004	16:00	6,8	10,05	3 400	180	20	88,00	
31.3.2004	17:00	5,6	10,04	3 300	180	37	73,00	
5.4.2004	15:00	9,9	7,51	3 100	120	33	19,00	
5.4.2004	16:00	10,3	7,63	3 100	140	29	32,00	
5.4.2004	17:00	9,9	7,96	3 100	140	32	28,00	
5.4.2004	18:00	9,5	7,24	3 200	140	33	27,00	
5.4.2004	19:00	8,4	7,39	3 200	120	35	23,00	

6.5.1 Näytteiden ainepitoisuudet

Tutkittujen 19 näytteen kokonaistyyppipitoisuus vaihteli välillä 3100 – 4400 µg/l.

Keskiarvo oli 3642 µg/l ja keskihajonta 431 µg/l (12 % keskiarvosta).

Kokonaistyyppipitoisuuden vaihtelu eri näytteiden välillä oli tutkituista aineista kaikkein vähäisintä. Virtaamalla painotettu keskiarvo oli 3550 µg/l.

Valtakunnallisessa hulevesitutkimuksessa saatiin sulanta-ajan painotetuksi keskimääräiseksi tyyppipitoisuudeksi Pakilan pientaloalueella 3,7 mg/l (Melanen 1982). Tämä arvo on hyvin lähellä Rauhalanojan arvoa. Melasen tutkimuksen sulamisveden painotetut keskimääräiset arvot eri alueilla vaihtelivat välillä 1,9...5,5 mg/l (Melanen 1982). RYVE-projektissa kokonaistyyppipitoisuuden kuukauden keskiarvot keväällä 2002 olivat helmikuussa 1600 µg/l, maaliskuussa 1100 µg/l ja huhtikuussa 1300 µg/l. Siten Rauhalanojan ainepitoisuudet ovat korkeampia kuin Laaksolahden pientaloalueella. Rauhalanojan pitoisuudet ovat lähempänä Vallikallion kerrostaloaluetta, jossa tyyppipitoisuuden kuukausikeskiarvo vaihteli välillä 2100-3500 µg/l, maksimiarvo oli helmikuussa 4300 µg/l (Nurminen 2004).

Fosforipitoisuus vaihteli välillä 34–180 µg/l, keskiarvo oli 92 µg/l ja keskihajonta 49 µg/l (53 % keskiarvosta). Kaksi pois jätettyä arvoa olivat 380 ja 660 µg/l. Virtaamalla painotettu keskiarvo oli 109 µg/l. Pakilan pientaloalueella (Melanen 1982) sulanta-ajan keskimääräinen virtaamalla painotettu kokonaisfosforipitoisuus oli 220 µg/l. Eri alueiden keskimääräiset arvot vaihtelivat välillä 220–400 µg/l (Melanen 1982). RYVE-projektissa kokonaisfosforipitoisuuden kuukauden keskiarvot Laaksolahden pientaloalueella keväällä 2002 olivat helmikuussa 40 µg/l, maaliskuussa 70 µg/l ja huhtikuussa 40 µg/l. Vallikalliossa arvot olivat vastaavasti 70, 10 ja 40 µg/l. Vallikallion suurin arvo oli maaliskuussa havaittu 330 µg/l (Nurminen 2004).

KMnO₄-luku vaihteli välillä 20–41 mg/l. Kaksi pois jätettyä arvoa olivat 76 ja 89 mg/l. Keskiarvo oli 32 mg/l ja keskihajonta 4,7 mg/l (15 % keskiarvosta), painotettu keskiarvo oli 33 mg/l. Melasen (1982) tutkimuksessa kemiallinen hapenkulutus sulanta-ajalla tutkittiin ainoastaan kahdella koealueella, Kajaanin keskustassa ja Oulussa asuinkerrostaloalueella. Näiden COD_{Mn}-arvot olivat 17 ja 14 mg/l (Melanen 1982). Nämä voidaan muuttaa KMnO₄-luvuksi jakamalla ne luvulla 0,253 (Oravainen 1999),

jolloin Kajaanin keskustan ja Oulun asuinkerrostaloalueen KMnO_4 -luvut ovat 67 ja 55 mg/l.

Kiintoaineen määrissä esiintyi suurta vaihtelua. Pienin arvo oli 3 mg/l ja suurin arvo 88 mg/l, kun arvot 350 ja 710 mg/l jätettiin pois. Keskiarvo oli 21 mg/l ja keskihajonta 24 mg/l (113 % keskiarvosta). Keskihajonta ylittää keskiarvon. Virtaamalla painotettu keskiarvo oli 29 mg/l. Melasen (1982) tutkimuksessa kiintoaineen keskimääräiset pitoisuudet sulantakaudella eri alueilla vaihtelivat välillä 50...750 mg/l. RYVE-projektissa kiintoainepitoisuuden kuukauden keskiarvot keväällä 2002 olivat helmikuussa 16 mg/l, maaliskuussa 25 mg/l ja huhtikuussa 8 mg/l (Nurminen 2004)

6.5.2 Ainepitoisuuksien ja virtaamien korrelaatio sekä korrelaatiot aineiden välillä

Virtaamien ja ainepitoisuuksien välinen korrelaatio tutkittiin Statistix -ohjelmalla. Ohjelmalle oli annettu tuntivirtaamat ja lämpötilat (576 riviä) sekä tutkitut ainepitoisuudet (19 kpl, kun kaksi poikkeuksellisen suurien pitoisuuksien sisältänyttä näytettä jätettiin pois) sijoitettuina omiin ajankohtiinsa. Ohjelma laski korrelaatiot käyttäen niitä 19 virtaaman arvoa, joiden ajanhetkiä vastaavat näytepitoisuudet olivat tiedossa (taulukko 10).

KMnO_4 -lukua lukuun ottamatta aineet korreloivat tilastollisesti merkittävästi virtaaman kanssa. Fosfori- ja kiintoainepitoisuuksissa on havaittavissa selvä nousu virtaaman noustessa. Kokonaistyyppi ja virtaama sen sijaan korreloivat negatiivisesti arvolla -0,59, P-arvo on 0,01. Samanlainen tulos saatiin RYVE -projektissa, missä Vallikallion kerrostaloalueen tyypipitoisuuden ja valunnan korrelaatio oli -0,28. Kuvat virtaamista ja ainepitoisuuksista on esitetty liitteessä 1. Kokonaistypen negatiivista korrelaatiota virtaaman kanssa selittää nitraattitypellä ilmenevä laimenemisefekti. Mitä suurempaan vesimäärään nitraattityppi sekoittuu, sitä pienemmäksi sen pitoisuudet jäävät.

Sulantakauden näytteiden kokonaistyyppi- ja kokonaisfosforipitoisuus korreloivat keskenään arvolla -0,60, P-arvo 0,01. Kokonaistyyppi ja kiintoaine korreloivat arvolla -0,51, P-arvo 0,02. Kokonaisfosfori ja kiintoaine korreloivat arvolla 0,90, P-arvo 0,00. Tämä johtuu fosforin sitoutumisesta kiintoainepartikkeleihin ja kuvastaa kiintoaineen haitallisuutta, sillä sen mukana järveen kulkeutuu fosforia, joka sopivissa olosuhteissa

vapautuu kasveille käyttökelpoiseen muotoon. Muut parit (kokonaistyyppi ja KMnO_4 , kokonaisfosfori ja KMnO_4 , kiintoaine ja KMnO_4) eivät korreloi tilastollisesti merkittävästi.

Taulukko 10. Sulanta-ajan virtaamien ja ainepitoisuuksien korrelaatiot

	korrelaatio	P-arvo
Kokonaistyyppi	-0,58	0,009
Kokonaisfosfori	0,92	0,000
KMnO_4 -luku	0,22	0,360 > 0,05
Kiintoaine	0,82	0,000

6.6 Sulan ajan virtaamat

Automaattista virtaamamittaria ei ollut mahdollista saada käyttöön kesäaikana, joten virtaamia pyrittiin sateiden yhteydessä mittaamaan manuaalisesti mittaamalla vesisyvyys siitä sadevesikaivosta, jossa mittari oli keväällä ollut, ja laskemalla virtaama vesisyvyydestä kaavalla 9 käyttäen kevään mittauksissa havaittua vesisyvyyden ja virtaaman yhteyttä. Kotola ja Nurminen (2003b) toteavat johtopäätöksissään, että kaupunkiympäristön hydrologiaan liittyvien nopeiden muutosten takia automaattinen, jatkuvatoiminen mittaus- ja näytteenotto toiminta on välttämätöntä, mutta hankkeella ei ollut siihen mahdollisuuksia. Manuaalinen vesisyvyyden mittaus useita metrejä maanpinnan alapuolella sijaitsevasta kaivon pohjasta osoittautui lisäksi käytännössä hankalaksi, eikä yksittäisillä, käsin suoritetuilla mittauksilla saatu jatkuvaa tietoa virtaaman vaihteluista sateiden aikana ja niiden välillä. Lisäksi samansuuruisetkin sateet voivat aiheuttaa keskenään erilaisia virtaamia johtuen mm. sadetta edeltäneen kuivan kauden kestosta, lämpötilasta, haihdunnasta ja maankosteudesta. Yksittäisistäkin mittauksista saadaan kuitenkin suuntaa antava arvio alueen valumakertoimesta ainakin pitkäkestoisille sateille. Vesisyvyys mitattiin neljänä eri päivänä niin, että sade oli jatkunut jo useamman tunnin melko tasaisena, jolloin voidaan olettaa myös virtaaman pysyvän tasaisena ja yksittäisen mittauksen edustavan virtaamaa hyvin. 21.5.04 iltapäivällä satoi 0,6 mm tunnissa ja virtaamaksi saatiin 4,8 l/s, mikä vastaa 0,03 mm

vesikerrosta valuma-alueella. Valuntakertoimeksi saadaan $0,03/0,6 = 0,05$. 11.6.04 aamupäivällä satoi 0,5 mm tunnissa ja virtaamaksi saatiin 5,6 l/s, mikä tunnissa vastaa valuma-alueella 0,03 mm vesikerrosta, joten valuntakertoimeksi saadaan $0,03/0,5 = 0,06$. 14.6.04 tunnin sadesumma oli 1,4 mm ja virtaama oli 11,3 l/s, josta saadaan valuntakertoimeksi 0,05. 30.6.04 satoi tunnissa lähes 5 mm ja virtaama oli 37 l/s, mistä saadaan valunnan osuudeksi sadannasta 5 %. Ainakin pitkäkestoisesta sateesta siis vain 5-7 % päättyy välittömänä valuntana sadevesiviemärin ja yli 90 % imeytyy maaperään, pidättyvä kasvillisuuteen tai jää painannesäilynnäksi. Maaperään imeytynyt vesimäärä purkautuu osittain myöhemmin sadevesiviemärin kautta tai pohjavesivaluntana vesistöön. RYVE -tutkimuksessa saatiin kahden peräkkäisen kesäajan sadetapahtumien valuntakertoimien aritmeettiseksi keskiarvoksi Laaksoalahden pientaloalueella 4 %. Pienin valuntakerroin oli 0 % ja suurin 27 % (Kotola ja Nurminen 2003b).

6.7 Sulan ajan ainepitoisuudet

Taulukossa 11 on esitetty kahdeksana näytteenottopäivänä otettujen 10 näytteen ainepitoisuudet. Minimipitoisuudet on alleviivattu ja maksimipitoisuudet kursivoitu. Suurimmat arvot on merkitty punaisin kirjaimin ja pienimmät sinisin kirjaimin. Muut näytteet on otettu samasta sadevesikaivosta kuin sulanta-ajan näytteet, mutta yksi näytteistä (2.6.2004 jälkimmäinen näyte) on otettu Rauhalanojan kosteikon jälkeen juuri ennen järven rantaa. Lisäksi 11.6. käytiin pelkästään mittaamassa sadevesikaivon virtaama. Sadesumma kuvaa sadetapahtuman alusta näytteenottohetkeen mennessä sataneen veden määrää.

Kotolan ja Nurmisen (2003b) mukaan sulan kauden ainepitoisuudet ovat yleensä sulanta-aikaa suuremmat silloin, kun läpäisemätöntä alaa on alle 40 %. Poikkeuksen muodostaa typpi, jonka kevään aikaiset pitoisuudet ovat kesäaikaa suuremmat (Kotola ja Nurminen 2003b). Tätä sääntöä noudattavat myös Katumajärven ympäristön hulevedet. Kokonaisfosforin, KMnO_4 -luvun ja kiintoaineen pitoisuudet olivat keskimäärin kesän näytteissä suurempia kuin kevään, kokonaistypen pitoisuus sen sijaan oli kesällä alempi kuin keväällä.

Taulukko 11. Sulan ajan vesinäytteiden ainepitoisuudet Rauhalanojassa

		Sadesumma	Virtaama	Kokonais- typpi	Kokonais- fosfori	KmnO ₄ -luku	Kiintoaine	Fosfaatti- fosfori	Fekaaliset streptokokit	Lämpökest. koliformiset bakteerit
		mm	l/s	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	µg/l	pmy/ml	pmy/ml
13.5.2004	Kuivalla jaksolla	0		1400	17	25	1,0			
19.5.2004	Sadekuuron jälkeen	2,2	3,94	1300	360	63	120,0			
21.5.2004	Sadekuuron aikana	0,8	4,76	1500	36	41	7,0			
2.6.2004	Satoi viimeksi toissapäivänä	0	2,96	1400	23	34	1,8	15	20	10
	Kosteikon jälkeen	0		1100	43	35	3,4	<5		
14.6.2004	Koko aamun satoi	2	11,29	2500	61	43	30,0			
23.6.2004	Ukkoskuuron alussa	0	12,40	1600	61	25	15,0			
	virtaaman lisääntyä	2,6		1900	540	74	79,0			
30.6.2004	Koko päivän oli satanut rankasti	29,8	37,39	880	190	44	130,0			
13.7.2004	Kuivalla jaksolla	0		2500	46	39	3,3	31	190	610

6.7.1 Kokonaistyyppi

Kokonaistyyppipitoisuuden keskiarvo 9 näytteessä oli 1664 µg/l (keskihajonta 544 µg/l), pienin pitoisuus 880 µg/l ja suurin pitoisuus 2500 µg/l. Virtaamalla painotettu arvo oli 1285 µg/l.

RYVE-tutkimuksessa Laaksoalahden kokonaistyyppipitoisuuden kuukausikeskiarvot olivat toukokuussa 1200 µg/l (23 näytettä), kesäkuussa 1900 µg/l (43 näytettä) ja heinäkuussa 1900 µg/l (48 näytettä) (Nurminen 2004).

Valtakunnallisessa hulevesitutkimuksessa virtaamalla painotettu kokonaistyyppipitoisuus vaihteli sulana aikana eri alueilla välillä 1100 µg/l...2200 µg/l (Melanen 1982).

Kannalan tutkimuksessa Vaasan keskusta-alueilla kokonaistypen painotettu keskiarvo oli 2350 µg/l (Kannala 2001), eli keskustan hulevesien tyyppipitoisuus on pientaloalueen hulevesiä suurempi. Edellisen kerran tämän viemärin purkupaikasta mitatut

kokonaistyyppipitoisuudet olivat 22.4.1999 789 µg/l ja 21.10.1999 560 µg/l (Salminen 2003).

6.7.2 Kokonaisfosfori

Kokonaisfosforipitoisuuden 9 näytteen keskiarvo oli 148 µg/l (keskihajonta 184 µg/l), pienin pitoisuus 17 µg/l ja suurin pitoisuus 540 µg/l. Virtaamalla painotettu arvo oli 157 µg/l.

RYVE-tutkimuksessa Laaksoalahden kokonaisfosforipitoisuuden kuukausikeskiarvot olivat toukokuussa 40 µg/l (23 näytettä), kesäkuussa 170 µg/l (43 näytettä) ja heinäkuussa 180 µg/l (48 näytettä) (Nurminen 2004).

Valtakunnallisessa hulevesitutkimuksessa virtaamalla painotettu kokonaisfosforipitoisuus vaihteli eri alueilla välillä 250 µg/l...520 µg/l (Melanen 1982). Kannalan tutkimuksessa Vaasan keskusta-alueilla kokonaisfosforin painotettu keskiarvo oli 190 µg/l (Kannala 2001). Tässäkin näkyy keskusta-alueen ja pientaloalueen ero. Edellisen kerran tämän viemärin purkupaikasta mitatut kokonaisfosforipitoisuudet olivat 22.4.1999 näytteessä 41 µg/l ja 21.10.1999 näytteessä 27 µg/l (Salminen 2003).

6.7.3 KMnO₄-luku

KMnO₄-luku oli 9 näytteessä keskimäärin 43 mg/l (keskihajonta 16 mg/l), pienin arvo oli 25 mg/l ja suurin arvo 74 mg/l. Virtaamalla painotettu arvo oli 44 mg/l.

Valtakunnallisessa hulevesitutkimuksessa mitattiin kemiallista hapenkulutusta COD_{Mn}-luvulla, jonka virtaamalla painotettu arvo vaihteli välillä 15 mg/l...26 mg/l (Melanen 1982). Nämä voidaan muuttaa KMnO₄-luvuksi jakamalla ne luvulla 0,253 (Oravainen 1999), jolloin vaihteluväliksi saadaan 59 mg/l...103 mg/l. Vaasan keskustan hulevesien painotettu COD_{Mn}-arvo oli 22,7 mg/l, joka on KMnO₄-lukuna 89,7 mg/l (Kannala 2001). Edellisen kerran tämän viemärin purkupaikasta mitatut KMnO₄-luvut olivat 22.4.1999 näytteessä 39 mg/l ja 21.10.1999 näytteessä 26 mg/l (Salminen 2003).

6.7.4 Kiintoaine

Kiintoainepitoisuus oli keskimäärin 43 mg/l (keskihajonta 53 mg/l), pienin arvo <1 mg/l ja suurin arvo 130 mg/l. Virtaamalla painotettu keskiarvo oli 95 mg/l, sillä suurin kiintoainepitoisuus esiintyi suuren virtaaman yhteydessä.

RYVE-tutkimuksessa Laaksolahden kiintoainepitoisuuden kuukausikeskiarvot olivat toukokuussa 16 mg/l (23 näytettä), kesäkuussa 122 mg/l (43 näytettä) ja heinäkuussa 123 mg/l (48 näytettä) (Nurminen 2004).

Valtakunnallisessa hulevesitutkimuksessa virtaamalla painotettu kiintoainepitoisuus vaihteli eri alueilla välillä 89 mg/l...490 mg/l (Melanen 1982). Kannalan tutkimuksessa Vaasan keskusta-alueilla painotettu keskiarvo oli 210 mg/l (Kannala 2001). Edellisissä näytteenotoissa viemärin purkupaikalta kiintoainepitoisuus oli keväällä 22.4.99 10,4 mg/l ja syksyllä 21.10.1999 1,6 mg/l.

6.7.5 Suurimmat ja pienimmät pitoisuudet

Keskihajontojen perusteella pienin vaihtelu oli typpipitoisuudessa ja KMnO_4 -luvussa, kun taas kiintoaine- ja kokonaisfosforipitoisuuksien keskihajonnat olivat keskiarvojaan suurempia.

Pienimmät ainepitoisuudet kokonaisfosforin, KMnO_4 -luvun ja kiintoaineen osalta havaittiin kuivalla jaksolla, KMnO_4 -luvulla sateen jo alettua, mutta sateen vaikutus ei vielä näkynyt sadevesiviemärin virtaamassa. Pienin typpipitoisuus puolestaan ilmeni koko päivän jatkuneessa rankassa sateessa otetussa näytteessä 30.6.04.

Suurimmat ainepitoisuudet kokonaisfosforin, KMnO_4 -luvun ja kiintoaineen osalta havaittiin sateessa otetuissa näytteissä. Typen kahdesta suurimmasta havaitusta ainepitoisuudesta (molemmat 2500 $\mu\text{g/l}$) toinen ilmeni koko aamun jatkuneen sateen yhteydessä ja toinen kuivana aikana.

Taulukko 12. Sulan ajan suurimmat ja pienimmät ainepitoisuudet esiintymisen mukaan

	Sateessa	Kuivana aikana
Kokonaistyyppi, suurin	x	x
Kokonaistyyppi, pienin	x	
Kokonaisfosfori, suurin	x	
Kokonaisfosfori, pienin		x
KMnO ₄ -luku, suurin	x	
KMnO ₄ -luku, pienin		x
Kiintoaine, suurin	x	
Kiintoaine, pienin		x

Kosteikon jälkeen otetussa näytteessä kokonaistyyppipitoisuus on alentunut, mutta kokonaisfosforipitoisuus kasvanut, mikä viittaa fosforin liikkeelle lähtöön kosteikosta. Sen sijaan fosfaattifosforin pitoisuus väheni kosteikossa voimakkaasti. KMnO₄-lukuun ja kiintoainepitoisuuteen kosteikolla ei näytteen perusteella näyttäisi olevan juurikaan vaikutusta. Koska kosteikon jälkeisiä näytteitä oli vain yksi, ei tulos ole luotettava. Kosteikon läpi virtaavan puron pohjalle on sedimentoitunut kiintoainesta, mutta se myös lähtee herkästi liikkeelle, joten luultavasti kosteikossa tapahtuu sekä sedimentaatiota että resuspensiota. Kosteikko ei nykyisellään toimi kovin tehokkaasti, sillä vesi virtaa alueen läpi kapeassa purossa joutumatta kosketuksiin kasvillisuuden kanssa muutoin kuin tulva-aikana.

Fosfori- ja kiintoainepitoisuus näyttäisivät kasvavan virtaaman lisääntyessä. Typpipitoisuus näyttäisi alenevan ja KMnO₄-luku ei virtaama näyttäisi vaikuttavan. Samanlaiset tulokset ainepitoisuuksien ja virtaaman välisistä korrelaatioista saatiin sulanta-ajan ainepitoisuuksille. Kuvat ainepitoisuuksista ja virtaamista on esitetty liitteessä 2.

6.7.6 Vertailu muiden ojien aikaisempiin tuloksiin

Taulukossa 13 on esitetty tulokset niistä Katumajärveen laskevista ojista, jotka sisältävät pelkästään hulevesiverkostosta peräisin olevaa vettä ja joista on aikaisemmin otettu vesinäytteitä. Vuoden 2004 näytteet (lihavoidut arvot) on otettu tämän työn yhteydessä ja muut aikaisemmin. Rauhalanojan tämän työn yhteydessä otettujen

näytteiden tuloksia ei kuitenkaan ole sisällytetty taulukkoon. Päivämäärien perusteella aikaisemmat näytteet edustavat sulan kauden arvoja.

Keskimäärin fosfaattifosforin ja kokonaisfosforin suhde on näissä ojissa taulukon 13 mukaan 53 %. Arvo on laskettu niistä 10 näytteestä, joista on tutkittu sekä fosfaattifosfori että kokonaisfosfori. Fosfaatin ja kokonaisfosforin suhde on kaikissa Katumajärveen laskevissa ojissa ollut keskimäärin 54 %.

Taulukko 13. Muiden sadevesiojien vesinäytteiden tulokset vuosilta 1992-2004

		Kiintoaine	KMnO ₄ -luku	Kokonais- fosfori	Kokonais- typpi	Fosfaatti- fosfori	Fekaaliset enterokokit	Lämpökest. koliformiset bakteerit
		mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	pmy/100ml	pmy/100ml
14.10.1992	Katumanoja	2,0	6,7	8	890	4		5
19.4.1999	Katumanoja	31,0	45	79	2100	40	27	8
26.4.1999	Katumanoja	6,4	31	16	1200	9	>200	2
28.4.2003	Katumanoja	1,8	9	11	1700	6	12	110
16.10.2003	Katumanoja	0,7		< 2	10			0
6.4.2004	Katumanoja	24,0	20	53	2100			
13.7.2004	Katumanoja	16,0	40	13	1200	8	140	230
22.4.1999	Rauhalanoja	10,4	39	41	790	16	140	>500
21.10.1999	Rauhalanoja	1,6	26	27	560	14	2	61
5.5.1998	Rantatienoja	54,0	33	70	2000	31		28
8.10.1998	Rantatienoja	11,0	16	26	570	16	24	11
16.10.2003	Rantatienoja	0,4		< 2	480			0
6.4.2004	Rantatienoja	8,2	26	46	2200			
13.7.2004	Rantatienoja	2,2	79	46	1800	26		

Rauhalanojasta tämän työn yhteydessä otettujen näytteiden keskimääräiset ainepitoisuudet ovat kaikkien aineiden kohdalla suurempia kuin saman ojan aikaisemmissa mittauksissa. Tämä selittyy kokonaisfosforin, KMnO₄-luvun ja kiintoaineen osalta sillä, että tämän työn yhteydessä näytteenotto painottui sateisille jaksoille, kun taas aiemmat näytteet on todennäköisesti otettu kuivana aikana. Jos kesän 2004 näytteistä lasketaan keskiarvot ainoastaan kuivien ajanhetkien näytteille, päästään lähelle Rauhalanojan aikaisempia näytteitä muiden paitsi typen osalta, joka on edelleen selvästi aikaisempaa korkeampi.

Taulukko 14. Kesäajan Rauhalanojan näytteiden ainepitoisuuksien keskiarvot sateella ja kuivana aikana vuonna 2004

	Kokonaistyyppi	Kokonaisfosfori	KMnO ₄ -luku	Kiintoaine
Näytteenottoajanhetki	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l
Kaikki näytteet (9 kpl)	1664	148	43	43
Kuivalla jaksolla (4 kpl)	1725	37	31	5
Sateessa (5 kpl)	1616	237	53	73

Taulukosta 14 käy ilmi, että sateessa otettujen näytteiden ainepitoisuuksien keskiarvot ovat selvästi korkeampia verrattuna sateettoman ajan näytteisiin varsinkin kiintoaineen ja kokonaisfosforin osalta. Kokonaistyyppipitoisuus puolestaan on sateessa keskimäärin hieman matalampi kuin kuivalla jaksolla.

Taulukossa 15 on verrattu tämän työn yhteydessä otettujen vesinäytteiden tuloksia aikaisempiin vesinäytteisiin muutaman ojan kohdalla.

Taulukko 15. Rauhalanojan kesän 2004 sateettomien näytteiden ainepitoisuudet verrattuna muutamaan muuhun ojaan

	Kiintoaine	KMnO ₄ -luku	Kokonaisfosfori	Kokonais-typpi
	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l
Rauhalanoja (aikaisemmat 2 näytettä)	88 %	95 %	108 %	256 %
Kihtersuonoja (10 näytettä)	27 %	100 %	38 %	125 %
Myllyjoki (6 näytettä)	180 %	50 %	151 %	183 %
Rantatienoja (5 näytettä)	35 %	80 %	97 %	122 %
Katumanoja (7 näytettä)	45 %	122 %	141 %	131 %

Kun verrataan Rauhalanojan kuivan ajan näytteitä kahteen muuhun sadevesiojaan eli Katumanojaan ja Rantatienojaan, havaitaan että KMnO₄-luku ja kokonaisfosforipitoisuus asettuvat muiden ojen keskiarvojen väliin, kiintoaine jää muiden ojen arvon alle ja kokonaistyyppipitoisuus puolestaan on hieman korkeampi.

Kihtersuonoja on yksi suurimpia Katumajärven oja, ja sen valuma-alue on Rauhalanojan valuma-aluetta suurempi. Kun verrataan Rauhalanojan sateettomien kesäajan näytteiden keskimääräisiä pitoisuuksia Kihtersuonojan vesinäytteiden (10 kpl) keskiarvoihin, havaitaan kiintoaineen, KMnO₄-luvun ja kokonaisfosforin pitoisuuksien

olevan Rauhalanojassa alempia tai samansuuruisia kuin Kihtersuonojassa. Sen sijaan kokonaistyyppipitoisuus on Rauhalanojassa Kihtersuonojaa korkeampi.

Katumajärven tärkeimpään vedentuojaan Myllyjokeen (keskiarvo laskettu 6 näytteestä) verrattuna Rauhalanojan arvot ovat korkeampia kiintoaineen, kokonaisfosforin ja kokonaistypen osalta, KMnO_4 -luku taas on Rauhalanojassa pienempi kuin Myllyjoessa. Myllyjoki on kuitenkin merkittävin kuormittaja suuren virtaaman johdosta.

7 Hulevesien merkitys Katumajärven kuormituksessa

7.1 Katumajärveen laskevien ojien yhteensä tuoma kuorma

Salminen (2003) selvitti opinnäytetyössään Katumajärveen laskevien ojien vuotuisen ainevirtaaman kaikista järveen laskevista ojista. Ojista oli otettu vesinäytteitä kahtena tai kolmena vuonna yleensä vuosina 1998, 1999 ja 2002 yleensä huhtikuun lopussa ja toisen kerran loka-marraskuussa. Vesinäytteitä oli siten ojaa kohti kahdesta kuuteen. Salminen (2003) toteaaakin, että yksittäisten näytteiden perusteella saatuja tuloksia voi pitää ainoastaan suuntaa-antavina. Samassa yhteydessä oli mitattu ojan syvyys ja leveys sekä veden virtausnopeus seuraamalla veden pinnalla liikkuvaa lastua tms. tai sadevesiviemärin purkupaikasta mittaamalla ämpärin täyttymiseen kuluva aika. Ojien keskimääräiset ainepitoisuudet ja virtaamat erikseen keväälle ja syksylle laskettiin näiden vesinäytteiden ja ojien syvyys-, leveys- ja virtausnopeustietojen perusteella.

Salminen (2003) selvitti koko vuoden ainevirtaaman laskemalla ensin kevät- ja syysainevirtaamat vastaavien virtaamien ja ainepitoisuuksien tulona. Koko vuoden ainevirtaama laskettiin olettaen, että kevät- ja syysvirtaama edustavat tiettyä prosenttiosuutta koko vuoden virtaamasta, jolloin koko vuoden ainevirtaama saatiin jakamalla syys- ja kevätkuorma ko. prosenttiosuudella.

Ojien vuosikuormien yhteenlaskettu arvo on Salmisen (2003) mukaan typen osalta 28 275 kg, fosforin osalta 876 kg ja kiintoaineen osalta 150 694 kg. Myllyjoki tuo yksin kiintoainetta yli 50 000 kg vuodessa. Jos Myllyjoen ainevirtaama vähennetään ojien kokonaisainevirtaamasta, jää typen ainevirtaamaksi 16 775 kg, fosforin ainevirtaamaksi 537 kg ja kiintoaineen ainevirtaamaksi 97 068 kg. Salminen valitsi tutkimuksensa perusteella yhdeksän sellaista ojaa, joille on ensisijaisesti tehtävä vesiensuojelusuunnitelma. Mikään näistä ei tuo järveen pelkästään hulevesiä, vaan ojat tulevat pääasiassa peltoalueilta.

7.2 Ainevirtaama Rekolaisen mallilla

Vertailun vuoksi laskettiin järveen kulkeutuvat typpi- ja fosforimäärät myös Rekolaisen mallilla. Malli on tarkoitettu peltoalueilta tapahtuvan ainehuuhtouman laskemiseksi.

Mallin mukaan fosforihuuhtouma saadaan kaavalla

$$L_P = 1,4 \cdot F_P + 9,5 \text{ (kg/km}^2/\text{a)} \quad (35)$$

ja typpihuuhtouma kaavalla

$$L_N = 11,4 \cdot F_P + 240 \text{ (kg/km}^2/\text{a)} \quad (36)$$

missä F_P on peltoprosentti. Käytetään peltoprosenttina rakennetun alan osuutta 25 %, jolloin fosforin huuhtoumaksi saadaan kaavasta 35

$$L_P = 1,4 \cdot 25 + 9,5 \text{ (kg/km}^2/\text{a)} = 44,5 \text{ kg/km}^2/\text{a} = 0,45 \text{ kg/ha/a}$$

ja typen huuhtoumaksi kaavasta 36

$$L_N = 11,4 \cdot 25 + 240 \text{ (kg/km}^2/\text{a)} = 525 \text{ kg/km}^2/\text{a} = 5,25 \text{ kg/ha/a}$$

Huuhtouma-arvoista saadaan ainevirtaama kertomalla ne rakennetun alueen pinta-alalla, joka on 246,5 hehtaaria eli 2,47 neliökilometriä. Fosforin ainevirtaamaksi vuodessa saadaan siten 110 kg ja typen ainevirtaamaksi vuodessa 1300 kg.

7.3 Ainevirtaama hulevesien mukana

7.3.1 10 vuoden kuormituksen laskenta

Katumajärven hulevesikuormituksen laskemiseksi viimeisen 10 vuoden ajalta tilattiin Ilmatieteen laitokselta vuorokausihavainnot lämpötilalle, sadannalle ja globaalisäteilylle. Koska suureista ei löytynyt havaintosarjoja Hämeenlinnaan, käytettiin sadannan ja lämpötilan osalta Hattulan Lepaan havaintoja ja globaalisäteilyn osalta Jokioisten havaintoja.

Kymmenen vuoden jaksolla 1.1.1994-31.12.2003 keskisadanta vuodessa oli 596 mm keskihajonnalla 52 mm. Minimivuosisadanta oli 524 mm vuodelta 2002 ja

maksimisadanta 697 mm vuodelta 2001. Jakson suurin yhden vuorokauden sademäärä oli 85,2 mm (13.5.2002).

Jaksolle 1.1.1994-31.12.2003 laskettiin vuorokausivalunnat sekä kokonaistypen vuorokausipitoisuudet TKK:n vesitalouden laboratoriossa kehitetyllä HUT-CONCEP – mallilla (Karvonen 2004). Valunnan laskenta perustuu mallissa hieman muunnettuun HBV:hen siten, että siihen on lisätty makrohuokosissa tapahtuva virtaus sekä pintavalunta. Malli laskee lumen kertymistä ja sulantaa, valuntaa erilaisilta maa-alueilta sekä typen eri komponenttien tasetta maaprofiilissa. Mallille annettiin lähtötietoina vuorokausiarvot lämpötilalle, sadannalle sekä potentiaaliselle evapotranspiraatiolle, joka laskettiin lämpötilan ja auringon säteilytehon perusteella kuten kohdassa 6.4. Valuntaa laskettaessa oletettiin, että valuma-alueella on päällystettyä pinta-alaa 20 % ja rakentamatonta alaa 80 %, joka käsiteltiin mallissa metsänä. Malli laski jakson 1.3.04-31.7.04 kokonaisvalunnaksi 155 mm, kun se kohdassa 6.4 kehitetyllä mallilla laskettuna oli 158 mm. Vaikka mallia ei ollut erityisesti kalibroitu Hämeenlinnaan, se laski kokonaisvaluntaa annettujen lähtötietojen perusteella riittävän tarkasti.

Kokonaistypen pitoisuuksia laskettaessa mallille annettiin lähtötietoina Katumajärveen kaupunkialueilta laskevista ojista vuoden 1994 jälkeen otettujen näytteiden kokonaistyyppipitoisuudet, joita malli käytti päivittäisten arvojen laskemisessa. Näytteet jaettiin kahteen luokkaan taulukon 7 mukaisesti: 1) näytteet joiden vesi on peräisin pelkästään sadevesiviemäristöstä ja 2) näytteet joiden vesi on peräisin sekä hulevesiverkostosta että avo-ojista. Kaikilta taulukon 7 valuma-alueilta ei ollut käytettävissä vedenlaatutietoja.

Mallista saadun valunnan ja kokonaistypen pitoisuuksien perusteella laskettiin vuorokausiarvot kokonaistyyppikuormalle hehtaaria kohti. Näistä laskettiin vuosi- ja vuosikokonaisarvot ajalle 1994-2003 (taulukko 16).

Fosfaattifosfori-, kokonaisfosfori- ja kiintoainepitoisuuksille laskettiin vuorokausiarvot muodostamalla kullekin aineelle olemassa olevien havaintojen ja mallin näytteenottoajanhetkelle laskemien valunnan välinen regressioyhtälö. Yhtälön avulla laskettiin pitoisuuksien vuorokausiarvot 10 vuoden jaksolle sekä vuosi- ja vuosikokonaisarvot hehtaaria kohti (taulukko 16).

Keskimääräinen kokonaistyyppihuuhtouma vuodessa vain hulevesiverkostosta peräisin olevalle vedelle oli kymmenen vuoden jaksolla 6,9 kg/ha/a ja vedelle johon sekoittui avo-ojien vesiä 5,8 kg/ha/a. RYVE-tutkimuksen vuosihuuhtouma kokonaistypelle pientaloalueella oli 4,5 kg/ha/a – 5,2 kg/ha/a (Kotola ja Nurminen 2003 b).

Keskimääräinen fosfaattifosforihuuhtouma oli 0,18 kg/ha/a ja kokonaisfosforihuuhtouma 0,28 kg/ha/a (RYVE-projektissa 0,26 kg/ha/a).

Keskimääräinen kiintoainehuuhtouma oli 92,6 kg/ha/a, kun RYVEN vastaava arvo oli 76 - 107 kg/ha/a.

Taulukko 16. Katumajärven kokonaistypen, fosfaattifosforin, kokonaisfosforin ja kiintoaineen vuosihuuhtoumat (kg/ha/a) rakennetuilta alueilta

Vuosi	Kokonaistyyppi alueilta 1 (kg/ha/a)	Kokonaistyyppi alueilta 2 (kg/ha/a)	Fosfaattifosfori (kg/ha/a)	Kokonaisfosfori (kg/ha/a)	Kiintoaine (kg/ha/a)
1994	4,8	3,7	0,15	0,22	59,2
1995	11,1	8,1	0,22	0,34	113,8
1996	8,3	6,3	0,16	0,24	79,9
1997	6,8	5,6	0,17	0,26	81,0
1998	7,4	7,3	0,19	0,30	90,5
1999	5,7	5,5	0,16	0,25	74,4
2000	8,5	8,5	0,19	0,29	87,4
2001	7,4	5,8	0,26	0,41	151,1
2002	4,9	3,4	0,20	0,32	140,3
2003	4,4	3,6	0,11	0,17	49,0
Keskiarvo	6,9	5,8	0,18	0,28	92,6

Taulukossa 17 sadanta perustuu Ilmatieteen laitoksen mittauksiin ja valunta on laskettu HUT-CONCEP –mallilla sadannan ja lämpötilasta riippuvan haihdunnan perusteella. Ainevirtaamat laskettiin taulukon 16 huuhtouma-arvoista rakennetun alueen alan (246,5 ha) perusteella. Typen ainevirtaamaa laskettaessa käytettiin aluetyypin 1 pitoisuuksia suuremman kuormitusarvion saamiseksi.

Vuosivalunta vaihteli vuosina 1994–2003 välillä 187–393 mm, keskiarvo oli 291 mm.

Kokonaistypen ainevirtaama vaihteli välillä 1 082 kg – 2 743 kg, keskiarvo oli 1 711 kg.

Fosfaatin ainevirtaama vaihteli välillä 27 kg - 64 kg, keskiarvo oli 44 kg.

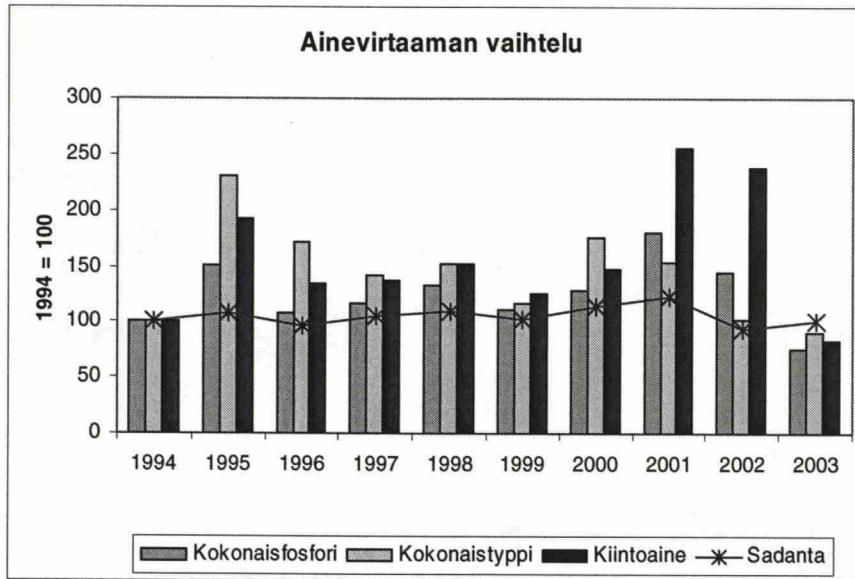
Kokonaisfosforin ainevirtaama vaihteli välillä 41 kg – 100 kg, keskiarvo oli 69 kg.

Kiintoaineen ainevirtaama vaihteli välillä 12 073 kg – 37 235 kg, keskiarvo oli 22 836 kg.

Taulukko 17. Kokonaistypen, fosfaatin, kokonaisfosforin ja kiintoaineen ainevirtaamat (kg) rakennetuilta alueilta Katumajärveen vuosina 1994-2003

Vuosi	Sadanta (mm/a)	Valunta (mm/a)	Kokonaistyyppi (kg/a)	Fosfaatti- fosfori (kg/a)	Kokonais- fosfori (kg/a)	Kiintoaine (kg/a)
1994	565,7	259,5	1193	36	55	14 583
1995	613,3	346,2	2743	53	83	28 050
1996	545,7	253,3	2052	39	60	19 691
1997	597,2	281,9	1685	42	64	19 963
1998	621,9	323,1	1822	48	73	22 301
1999	573,6	270,4	1398	40	61	18 334
2000	643,9	312,7	2096	46	71	21 535
2001	696,6	392,5	1827	64	100	37 235
2002	523,9	281,3	1217	50	80	34 592
2003	565,9	186,5	1082	27	41	12 073
Keskiarvo	595	291	1711	44	69	22 836

Kuvassa 28 on esitetty kokonaisfosforin, kokonaistypen ja kiintoaineen ainevirtaamien sekä sadannan vuosittainen vaihtelu verrattuna vuoteen 1994, jonka arvoksi on asetettu 100. Ainevirtaamien vaihtelu seuraa sadannan vaihtelua.



Kuva 28. Ainevirtaaman ja valunnan vaihtelu vuosittain 1994-2003 (1994 = 100)

7.3.2 Sulamisvesien osuus koko vuoden ainevirtaamasta

Kohdassa 7.3.1 lasketuista kuormituksen vuorokausiarvoista laskettiin kullekin vuodelle maalis- ja huhtikuun kuormituksen osuudet kyseisen vuoden kokonaiskuormituksesta. Taulukossa 18 on esitetty osuudet vuosille 1994-2003. Keskimäärin sulamisvalunnan osuus koko vuoden ainevirtaamasta oli 15 %. Osuudet jäävät hieman Melasen (1982) esittämien osuuksien alle.

Taulukko 18. Maalis- ja huhtikuun ainevirtaaman osuus koko vuoden ainevirtaamasta vuosina 1994-2003

Vuosi	Osuus (%)
1994	12 %
1995	8 %
1996	13 %
1997	15 %
1998	11 %
1999	27 %
2000	16 %
2001	24 %
2002	15 %
2003	6 %

7.4 Hulevesien osuus järven kokonaiskuormasta

Salmisen (2003) laskemasta kaikkien järveen laskevien ojien yhteensä tuomasta ainevirtaamasta (kohta 7.1) rakennetuilta alueilta kulkeutuva kokonaistyyppi on järven kokonaiskuormasta 6 %, kokonaisfosfori on järven kokonaiskuormasta 8 % ja kiintoaine 15 %. Siten rakennettujen alueiden järvelle aiheuttama kuormitus on varsin pieni peltovaltaisen valuma-alueen aiheuttamaan kuormitukseen verrattuna.

7.5 Uusien alueiden vaikutus hulevesikuormitukseen

Katumajärven itäpuolen osayleiskaavaaluonnoksen (24.3.2004) mukaan järven itäpuolelle on tulossa uusia asuinalueita yhteensä 576 hehtaarin verran nykyisen 246 hehtaarin lisäksi, mikä tarkoittaa että rakennettu ala järven ympärillä yli kolminkertaistuu. Järven pohjoispäähän on suunniteltu rakentamista 482 hehtaaria ja eteläpäähän 94 hehtaaria.

Taulukon 19 arvot on laskettu viimeisen 10 vuoden vuosihuuhtoumien keskiarvon perusteella. Pinta-alojen suhteen perusteella voidaan arvioida, että uudet alueet nostavat Katumajärven hulevesikuormituksen noin 3,3-kertaiseksi.

Tulevaisuuden arvoja laskettaessa on oletettu, että kaikki uudet alueet osallistuvat järven hulevesikuormitukseen, ja että uudet alueet eivät ominaisuuksiltaan oleellisesti eroa nykyisistä järveä ympäröivistä alueista.

Taulukko 19. Ainevirtaama Katumajärveen nykyään ja tulevaisuudessa uusien alueiden rakennuttua

	Kokonais- typpi (kg/a)	Fosfaatti- fosfori (kg/a)	Kokonais- fosfori (kg/a)	Kiintoaine (kg/a)
Nykyään (246,5 ha)	1711	44	69	22 836
Uusien alueiden rakennuttua (246,5 ha + 576 ha)	5711	148	230	76 197

8 Hulevesien käsittelysuunnitelma

Harvoilanmäelle

8.1 Harvoilanmäen asuntomessualue

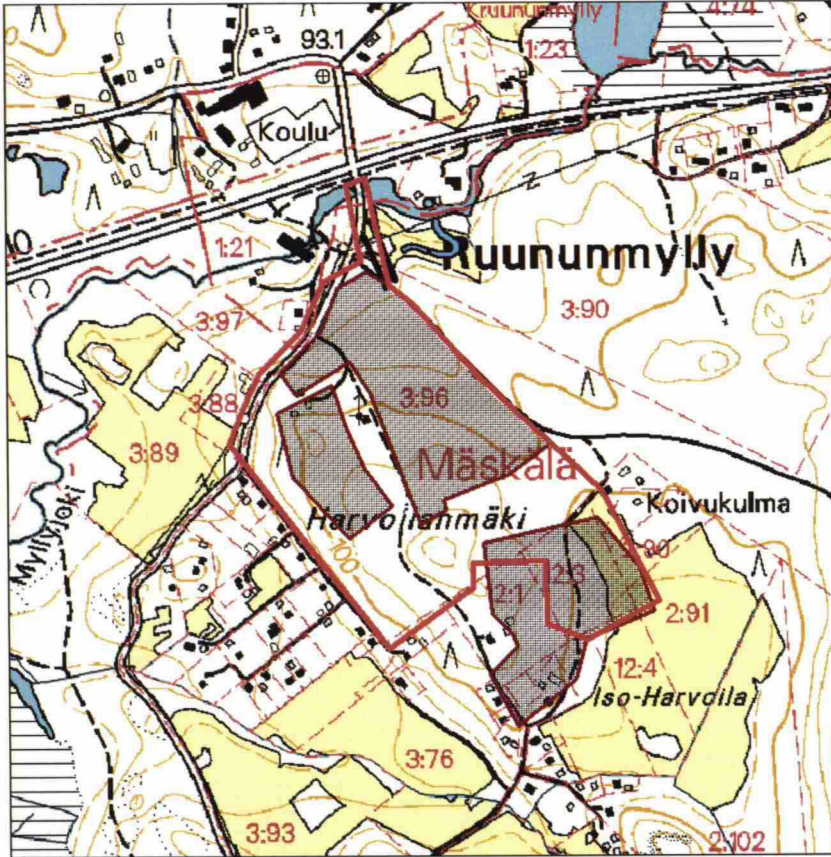
Hämeenlinnassa järjestetään asuntomessut kesällä 2007. Asuntomessujen yleistavoitteita ovat ympäristöasioiden aktiivinen huomiointi suunnittelussa ja luonnon ja ihmisen kannalta parempi ympäristö. Messualueena on Katumajärven koillispäässä, Myllyjoen eteläpuolella sijaitseva Harvoilanmäen alue. Mäki on mäntyvaltainen moreenimäki ja tällä hetkellä (2004) sillä sijaitsee vain muutama asumiskäytöstä poistunut rakennus. Mäen kaakkoispäässä ja etelä- ja lounaispuolella on vanhaa omakotitaloasutusta. Alueella ei tällä hetkellä ole kunnallistekniikkaa, mutta asuntomessualueen rakentuessa kunnallistekninen verkosto rakennetaan. Alueelle on tulossa pääosin pientaloja sekä muutama pienkerrostalo. Katumajärvi ja Myllyjoki valuma-alueineen luonnehtivat Harvoilanmäkeä. Messualueen rakentamisen yhteydessä selvitetään myös Myllyjoen virkistysarvon parantamista ja mahdollisen uimapaikan rakentamista joen varteen. (Jutila 2004b)

Myös Katumajärven itäpuolen osayleiskaava on valmisteilla. Asuntomessualueutta koskeva asemakaava on lähes valmis, ja asemakaavoitusta jatkettaneen itään päin messualueen rakennuttua.

Suunniteltaessa rakennuksia mäkiselle alueelle tulee huolehtia siitä, että rakentamisen jälkeenkin vettä pääsee imeytymään maaperään, jotta turvataan kasvillisuuden säilyminen. Yleisesti erilaiset imeytysratkaisut sopivat valuma-alueen yläosiin ja erilaiset viivytys- ja kosteikkoratkaisut valuma-alueen alaosiin (Ahponen 2003). Harvoilanmäen maaperä on moreenia (Maanmittaushallituksen maaperäkartta), joten imeyttämistä ajatellen maaperä ei ole paras mahdollinen.

Asuntomessualueen pinta ala on noin 17 hehtaaria. Se muodostuu kolmesta tonttialueesta (kuva 29), joista pohjoisimman ala on 6,3 ha, sen vieressä järvelle päin olevan alueen ala 2,8 ha ja eteläisimmän alueen ala 7,4 ha. Mäki toimii vedenjakajana, ja koillisosan vedet laskevat Ruununmyllyjojaan, pohjoisosan suoraan Katumajärveen ja

länsi-, etelä- ja itäosien vedet Jokelanojaan, joka vie ne edelleen Katumajärveen. Jokelanojan yläjuoksulle Iso-Harvoilaan on jo JÄRKI-hankkeessa rakennettu lasketusallas (Jutila 2004).



Kuva 29. Asuntomessualueen rajausta ja Harvoilanmäelle kaavoitettuja tonttialueita

8.2 Hulevesien käsittelysuunnitelma

Hulevesien käsittelysuunnitelma pohjautuu Harvoilanmäen asemakaavan luonnokseen, joka on päivätty 9.6.2004. Koska asemakaava ei vielä ollut valmis, ei myöskään sadevesiviemärienninn suunnittelu ollut vielä alkanut. Tarkoituksena on kuitenkin suunnitella puhdistusjärjestelmä hulevesien tulevan purkupaikan ja Myllyjoen väliin.

Mäen päälle, tonttien väliin jäävälle virkistysalueelle suunniteltiin alun perin hulevesiä viivytävää rakennetta, esimerkiksi kosteikkoa, mutta kaavoitustoimistosta todettiin, ettei se ole tilan puutteen vuoksi mahdollista. Hulevesien ensisijainen käsittelymenetelmä eli imeytys on myös hankalaa, koska maaperä on moreenia. Jos

imeyttämistä haluttaisiin käyttää, tulisi alueelle rakentaa imeytyskenttä, jossa moreeni on korvattu esimerkiksi soralla. Vaikka varsinaista imeytysallasta tai -kenttää ei ole mahdollista toteuttaa, tulisi hulevesiä pyrkiä kuitenkin edes pienimuotoisesti imeyttämään ja vähentää siten hulevesiverkostoon päätyvää vesimäärää. Lisäksi hulevesiä voitaisiin mäen päällä johtaa puroja pitkin perinteisen vesikourun asemesta.

Koska mäen päälle ei ole mahdollista rakentaa käsittelymenetelmää, päädyttiin ratkaisemaan tilanne suunnittelemalla laskeutusallas ja kosteikko mäen koillispuolelle ennen Myllyjokea. Nämä maat ovat Hämeenlinnan kaupungin omistuksessa ja siten käytettävissä. Hulevedet puretaan laskeutusaltaaseen, josta vesi virtaa edelleen kosteikon kautta Myllyjokeen. Tähän järjestelmään on tarkoitus koota mäen koillisreunan hulevedet. Alueen eteläpuolella on yksityistä maata. Alueen lounaispuolella oleva vanha omakotitaloalue ei ole viemäröity, joten mahdollisesti Harvoilanmäen viemäröinnin yhteydessä myös nämä alueet viemäröidään.

8.3 Mitoitusvesimäärä

Mitoitettaessa hulevesien käsittelyjärjestelmää tulee ottaa huomioon sadantatapahtumien satunnaisuus ja vaihtelevuus, eikä sadanta-valuntatapahtuman erilaisen luonteen vuoksi peltojen valumavesien käsittelyssä käytettäviä arvoja kannata suoraan käyttää. Tässä työssä käytettiin mitoitusasteena tien kuivatuksen suunnittelussa käytettyä sateen rankkuutta (RIL 1988, Hyöty 2003), joka sopinee kaupunkiolosuhteisiin maanviljelyalueille esitettyjä valumia paremmin. Valitaan mitoitusasteeksi rankkuudeltaan sellainen sade, joita sattuu vain kerran viidessä vuodessa tai harvemmin, ja jonka kesto on 60 minuuttia. Tällöin sateen intensiteetiksi saadaan nomogrammista $50 \text{ l s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$, joka vastaa tunnissa 18 mm vesikerrosta. Todettakoon, että hyvin sateisen kesän 2004 suurin tuntisade oli 12,4 mm. Sateen aiheuttama vesimäärä on siten

$50 \text{ l s}^{-1} \text{ ha}^{-1} \cdot 6,3 \text{ ha} \cdot 60 \text{ s min}^{-1} \cdot 60 \text{ min} = 1126 \text{ m}^3$. Käytetään Melasen (1982) ehdottamaa valuntakerrointa $C = 0,5 \dots 0,6 \cdot p_p$ käyttäen ylempää arvoa alueen mäkisyyden vuoksi, ja oletetaan läpäisemättömyysprosentiksi alueella 30. Näin saadaan liian suuri, mutta mitoituksen kannalta turvallinen arvio vesimäärästä.

Tällöin

$$V_{\text{mit, 60 min}} = 1126 \text{ m}^3 \cdot 0,6 \cdot 0,3 = 203 \text{ m}^3.$$

Tämä on virtaamaksi muutettuna 56 l/s.

Lasketaan lisäksi lumien sulamisesta syntyvä ylivirtaama (RIL 165-2 1988). Virtaama Q (l/s) saadaan kaavalla

$$Q = k_J \cdot k_M \cdot k_p \cdot F \cdot H_q$$

missä Q on virtaama (l/s), k_J järvisyyskerroin (-), k_M metsäojituskerroin (-), k_p peltoisuuskerroin (-), F valuma-alueen ala (km^2) ja H_q kevätylivaluma ($\text{ls}^{-1}\text{km}^{-2}$). Kun järvisyysprosentti on 1 tai alle, on järvisyyskerroin k_J 1,0. Metsäojituksen osuudeksi oletetaan 30 % (eli sadevesiviemäroidyn alueen osuus), jolloin metsäojituskerroin k_M on 1,15. Pellon osuus valuma-alueesta on alle 50 %, joten peltoisuuskerroin k_p on 1,0. H_q saadaan kuvaajasta valuma-alueen alan ja toistumisajan perusteella. Otetaan toistumisajaksi 10 vuotta, jolloin H_q on $380 \text{ ls}^{-1}\text{km}^{-2}$ ja lumien sulamisesta aiheutuvaksi mitoitusvirtaamaksi saadaan

$$Q = 1,0 \cdot 1,15 \cdot 1,0 \cdot 0,063 \cdot 380 \text{ l/s} = 27,3 \text{ l/s}$$

Havaitaan, että lumien sulamisesta aiheutuva ylivirtaama on mitoitusasteen aiheuttamaa virtaamaa pienempi, joten lumien sulamista ei tarvitse ottaa mitoituksen lähtökohdaksi. Myöskään Melasen (1982) mukaan lumien sulamisvalunta ei pienillä valuma-alueilla muodostu kriittiseksi sadevesiviemärien mitoitusta ajatellen (Melanen 1982).

8.4 Altaan ja kosteikon pinta-alat

8.4.1 Pinta-alat valuma-alueen koon mukaan

Maa- ja metsätalousministeriön mukaan laskeutusaltaan pinta-alan tulisi olla 0,1% - 0,2% valuma-alueen pinta-alasta ja kosteikon alan vastaavasti 1%-2% valuma-alueesta. Näin saadaan laskeutusaltaan alaksi 63 m^2 - 125 m^2 ja kosteikon alaksi 630 m^2 - 1250 m^2 .

8.4.2 Laskeutusaltaan pinta-ala maa-aineksen laskeutumisnopeuden perusteella

Lasketaan laskeutusaltaan pinta-ala Ruohtulan (1996) mukaan ottaen huomioon kiintoaineen laskeutumisnopeus. Käytetään hienon hiedan laskeutumisnopeutta 1 m/h, koska tätä hienompaa ainesta ei kannata yrittää laskeuttaa. Tällöin voidaan ajatella, että altaaseen tunnissa saapuvan vesimäärän paksuus saa olla korkeintaan yksi metri, jotta hiukkaset ehtivät altaan matkalla laskeutua eli

$$Q \text{ (m}^3\text{)}/A\text{(m}^2\text{)} < 1\text{(m)}$$

jolloin

$$A \text{ (m}^2\text{)} > Q\text{(m}^3\text{)}/1\text{(m)}$$

Mitoitusvesimäärä tunnissa on siis 203 m³. Tällöin laskeutusaltaan vähimmäispinta-alaaksi saadaan

$$203 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} / 1 \text{ m h}^{-1} = 203 \text{ m}^2.$$

Koska osa altaan pinta-alasta on tehotonta veden epätasaisesta jakautumisesta johtuen, tulee ala kertoa vielä luvulla 1,3...1,8 (Ruohtula 1996). Tällöin altaan alaksi saadaan 264 m² – 365 m² ja mitoitusvesimäärä 203 m³ mahtuu hyvin esimerkiksi yhden metrin syvyiseen altaaseen. Hulevesien käsittelyyn tarkoitettu laskeutusallas eroaa peltojen valumavesien puhdistukseen tarkoitettusta altaasta sikäli, että valuma-alueet ovat pienempiä ja tehokkaammin kuivatettuja, ja hulevesialtaaseen tulee vettä vain sateiden yhteydessä. Allas kannattaakin rakentaa niin, että altaassa säilyy vesipinta myös sateiden välillä, eikä välillä laskeva ja nouseva vesipinta aiheuta esteettisiä ongelmia. Tällöin vanha vesi korvautuu osittain tai kokonaan uudella seuraavan sateen yhteydessä. Pysyvä vesipinta voidaan toteuttaa siten, että vesi virtaa padon yli eteenpäin kosteikkoon. Jos talvenaikaiset ongelmat eli jäänalainen pohjan syöpyminen ja resuspensio halutaan ehkäistä, tulisi padon alareunaan lietetilan yläpuolelle tehdä luukku, venttiili tms., josta allas voidaan syksyllä tyhjentää, ja keväällä lumien sulannan alkaessa luukku suljetaan, jolloin allas pääsee täyttymään. Altaan tilapäinen tyhjentäminen voi olla tarpeen myös huollon ja puhdistuksen kannalta.

8.5 Altaan ja kosteikon rakenne

Hulevedet johdetaan ensin laskeutusaltaaseen, josta ne valuvat kosteikkoon. Laskeutusallas muotoillaan pitkänomaiseksi ja hieman kaarevaksi, jotta altaan koko pinta-ala on laskeutuskäytössä ja reunoille jää mahdollisimman vähän tehotonta, seisovan veden aluetta. Sekä allas että kosteikko ovat mahdollisimman suurelta osin korkeuskäyrien välissä, jottei niihin tule suuria korkeuseroja. Altaan leveys on 8 metriä ja pituus noin 40 metriä, jolloin pituuden ja leveyden suhde on riittävän suuri, 5:1, ja altaan pinta-alaksi tulee hiedan laskeutumisen vaatima 300 m^2 . Luiskat muotoillaan saven vaatiman kaltevuuden 1:1,5 mukaan (Vesihallitus 1986). Altaan pohjalle varataan noin 0,3 metrin lietetila. Allas rajoittuu patoon. Padossa lietetilan yläpuolella on putki, josta allas voidaan tarvittaessa tyhjentää puhdistusta varten tai talven varalle. Altaassa on pysyvä vesivarasto, jonka syvyys lietetilan yläreunasta on 1 metri. Kun pinnan leveys on 8 m ja sivujen kaltevuus 1:1,5, tulee pohjan leveydeksi 5 m ja altaan pysyvän vesipoikkileikkauksen alaksi tulee $(5 \text{ m} + 8 \text{ m})/2 \cdot 1 \text{ m} = 6,5 \text{ m}^2$. Tällöin myös virtausnopeuden alenemisen arvoon 1 cm/s vaatima vesipoikkileikkauksen vähimmäisala $5,4 \text{ m}^2$ toteutuu. Padossa olevan V-aukon alareuna on normaalivedenpinnan tasolla. Padon korkeus normaalivedenkorkeuden yläpuolella on 0,5 metriä, mikä tarjoaa ylimääräisen varaston sateen aiheuttamalle virtaamalle. V-aukosta vesi purkautuu vähitellen kosteikkoon, ja allas toimii siten virtaamaa tasaavana varastona.

Altaan pinta-ala on mitoitettu siten, että mitoitusvesimäärä 203 m^3 muodostaa teoriassa 300 m^2 alalle $203 \text{ m}^3/300 \text{ m}^2 = 0,70$ metrin vesikerroksen. Koska altaan reunat ovat kaltevat, jää vedenpinnan nousu pienemmäksi veden levitessä ranta-alueille. 0,5 metrin lisävarasto riittänee pidättämään kerran viidessä vuodessa sattuvan tunnin kestoisen mitoitussateen aiheuttaman virtaaman. Käytetty mitoitussade on varsin suuri ja pienempäänkin sateeseen varautuminen voisi riittää. Mikäli vettä tulee mitoitusvirtaamaa vähemmän, altaassa oleva vesi korvautuu vain osittain sadevedellä. Jos altaaseen kuitenkin kertyy enemmän vettä kuin siihen mahtuu, ylimääräinen vesi virtaa padon yli kosteikkoon. Tällaisessa tilanteessa esiintyy luultavasti resuspensiota kunnes virtaama tasaantuu, mutta ongelma on lyhytaikainen ja harvinainen.

Altaan ja kosteikon välille tulee pato. Padon altaan puoleinen luiska muotoillaan kaltevuuteen 1:2 ja kosteikon puoleinen luiska kaltevuuteen 1:4. Padon harjan leveydeksi tulee 1 m. Jos vedenpinnat padon molemmilla puolilla ovat samat, on etäisyys vedestä veteen siten 4 metriä. Padon sisus tehdään moreenista joka peitetään suodatinkankaalla, ja pato verhoillaan kivillä. Patoon jätetään V:n muotoinen aukko.

Laskeutusaltaasta vesi valuu kosteikkoon, joka hidastaa ja tasaa virtausta ja jossa kasvit sitovat veteen jääneitä ravinteita. Mikäli mahdollista, kosteikko toteutetaan pelkästään patoamalla. Padottu kosteikko sopii maisemaan kaivettua paremmin ja on edullisempi rakentaa. Kosteikko padotaan niin, että sen syvyydeksi tulee 0,7 m, jottei kosteikko kasva umpeen. Kosteikon pinta-alan tulisi olla 1000 m^2 . Kosteikon kokonaistilavuudeksi tulee näin 700 m^3 ja mitoitusvirtaama 200 m^3 mahtuu siihen tarvittaessa kokonaan. Kosteikon pituus on noin 100 metriä ja leveys noin 10 metriä. Tällä matkalla maanpinta laskee 2 metriä, joten kun kosteikon syvyydeksi halutaan 0,7 metriä, rakennetaan kosteikko peräkkäisinä terasseina, joiden pituuden ovat noin 30 metriä ja korkeusero kahden terassin välillä 0,7 metriä siten, että seuraavan terassin veden pinta on edellisen pohjan korkeudella. Terassien alareunoihin rakennetaan padot, jotka pitävät yläpuolisen veden 0,7 m korkeudella pohjasta ja joiden yli vesi virtaa kosteikon seuraavaan osaan. Kosteikkoon istutetaan osmankäämiä, vehkoja ja muita alueelle ominaisia kosteikkokasveja esimerkiksi joesta siirrettynä.

Sadevesiviemärin purkupaikka, altaan ja kosteikon välinen pato sekä kosteikon jälkeinen pato verhoillaan kivillä eroosion ehkäisemiseksi ja virtauksen sekoittamiseksi. Kivien lomassa virtaava vesi on myös kaunista katsottavaa. Mikäli hulevesiviemärin pään ja altaan välille jää tilaa, siihen tulisi rakentaa kivillä verhoiltu, mutkitteleva johtopainanne.

9 Yhteenveto

Kaupungistuminen muuttaa voimakkaasti veden hydrologista kiertoa. Suuri vettä läpäisemättömän pinnan osuus estää veden imeytymisen maaperään, ja vähäinen kasvillisuus vähentää interseptiota. Siten kaupunkialueilla pintavalunta on suurempaa ja pintakerros- ja pohjavesivalunta pienempää verrattuna luonnontilaiseen alueeseen. Suomessa on kaupunkialueilla yleensä käytössä erillisviemärointi, jossa hulevedet eli kaupunkialueen pintavaluntavedet johdetaan käsittelemättöminä suoraan lähimpään vesistöön.

Tässä työssä selvitettiin Hämeenlinnan keskustan tuntumassa sijaitsevaan Katumajärveen kohdistuvaa hulevesikuormitusta. Järven valuma-alue on 51 km² ja sitä kuormittavat pääasiassa valuma-alueella sijaitsevat peltoalueet. Katumajärven ympärillä on hulevesiviemäroityä rakennettua aluetta yhteensä 246,5 hehtaaria. Sadevesiviemärien valuma-alueista valittiin tutkimuksen kohteeksi Rauhalanojaan purkavan sadevesiviemärin valuma-alue Idänpään kaupunginosassa järven pohjoispuolella. Alueen pinta-ala on 57,8 hehtaaria, mikä tekee siitä järven toiseksi suurimman sadevesiviemäroidyn valuma-alueen. Alueella on rakennettua alaa 22 % kokonaispinta-alasta. Viemäristä juuri ennen purkupaikkaa otettiin keväällä lumien sulamisvesistä 19 näytettä ja kesällä sekä sateiden yhteydessä että sateettomina ajanhetkinä 10 näytettä, joista tutkittiin kuntayhtymän ympäristö- ja elintarvikelaboratoriossa kokonaistyyppi, kokonaisfosfori, kiintoaine ja KMnO₄-luku. Lumien sulaessa sadevesiviemäriin oli kolmeksi viikoksi asennettu automaattinen virtaamamittari, joka tallensi virtaamatietoja 15 minuutin välein. Kesäaikana virtaamaa mitattiin muutamia kertoja manuaalisesti.

Keväällä otettujen 19 vesinäytteen keskimääräinen kokonaistyyppipitoisuus oli 3642 µg/l, keskimääräinen kokonaisfosforipitoisuus 92 µg/l, KMnO₄-luku 32 mg/l ja kiintoainepitoisuus 21 mg/l. Tyyppipitoisuus aleni virtaaman kasvaessa, muiden näytteiden pitoisuudet sen sijaan kasvoivat virtaaman kasvaessa.

Kesäajan yhdeksän näytteen ainepitoisuudet olivat kokonaistypen osalta 1664 µg/l, kokonaisfosforin osalta 148 µg/l, KMnO₄-luvun osalta 43 mg/l ja kiintoaineen osalta 43 mg/l. Kun näytteet eroteltiin sateen ja sateettoman ajan näytteisiin, oli sateessa otettujen

5 näytteen keskimääräinen typpipitoisuus 1616 µg/l, fosforipitoisuus 237 µg/l, KMnO₄-luku 53 mg/l ja kiintoainepitoisuus 73 mg/l. Kuivana aikana otettujen neljän näytteen keskimääräinen typpipitoisuus oli 1725 µg/l, fosforipitoisuus 37 µg/l, KMnO₄-luku 31 mg/l ja kiintoainepitoisuus 5 mg/l. Varsinkin kokonaisfosforin ja kiintoaineen pitoisuuksissa näkyi selvä nousu sateen aikana virtaaman lisääntyessä. Typpipitoisuus sen sijaan aleni hieman ja KMnO₄-luku nousi vain hieman.

Kesäajan näytteiden kokonaisfosforin ja kiintoaineen pitoisuudet sekä KMnO₄-luku olivat yleisesti suurempia kuin sulamisvesissä johtuen kesäajan suuremmista virtaamista. Kokonaistyppipitoisuus sen sijaan oli kesäajan näytteissä kevyttä alhaisempi johtuen typen ja virtaaman negatiivisesta korrelaatiosta.

Tutkittujen aineiden pitoisuudet olivat samaa suuruusluokkaa sekä RYVE-projektin että Valtakunnallisen hulevesitutkimuksen pientaloalueilta saatujen tulosten kanssa. Kun verrataan kesäajan näytteiden pitoisuuksia Rauhalanojasta aikaisemmin otettuihin kahteen näytteeseen, voidaan todeta muiden aineiden pitoisuuksien olevan suunnilleen entisellään, mutta kokonaistyppipitoisuus on noin 2,5-kertainen edellisiin havaintoihin verrattuna. Kahteen muuhun sadevesiojaan, Rantatienojaan ja Katumanojaan verrattuna tätä työtä varten otettujen näytteiden ainepitoisuudet vaihtelivat välillä 35 % - 141 %.

Kihtersuonojan valuma-alue on suurin järveä ympäröivistä sadevesiviemäröidyistä valuma-alueista, ja se tuo järveen sekä hulevesiä että muita vesiä. Kihtersuonojan pitoisuuksiin (10 näytettä) verrattuna Rauhalanojan pitoisuudet olivat kiintoaineen, KMnO₄-luvun ja kokonaisfosforin osalta Rauhalanojassa selvästi alempia tai samansuuruisia kuin Kihtersuonojassa. Sen sijaan kokonaistyppipitoisuus oli Rauhalanojassa 25 % Kihtersuonojaa korkeampi.

Katumajärven tärkeimpään vedentuojaan Myllyjokeen (keskiarvo laskettu 6 näytteestä) verrattuna Rauhalanojan arvot ovat korkeampia kiintoaineen, kokonaisfosforin ja kokonaistypen osalta, KMnO₄-luku taas on Rauhalanojassa pienempi kuin Myllyjoessa. Myllyjoki on kuitenkin merkittävin kuormittaja suuren virtaaman johdosta.

Kevätvalunnan mallintamista varten työssä kehitettiin HBV-pohjainen virtaamamalli, johon lisättiin astepäivätekijään perustuva yksinkertainen lumen sulantamalli. Selitysasteeksi saatiin 0,67, mikä ottaen huomioon lyhyen kalibrointijakson ja tasaiset virtaamat on hyvä tulos.

10 vuoden jaksolle 1994-2003 laskettiin valunta käyttäen TKK:ssa kehitettyä HUT-CONCEP -mallia, joka perustuu HBV:hen, johon on lisätty makrohuokos- ja pintavalunta. Mallille annettiin lähtötietoina sadannan, lämpötilan ja auringon säteilytehon vuorokausiarvot sekä rakennetun alueen osuus (20 %), joista se laski valunnan.

Mallista saatiin myös vuorokausiarvot kokonaistyyppipitoisuudelle. Lähtötietoina annettiin olemassa olevat vedenlaatuhavainnot kaikista kaupunkialueiden ojista ajalle 1994-2003 ja niiden avulla malli laski vuorokausiarvot jakson jokaiselle päivälle.

Fosfaattifosfori-, kokonaisfosfori- ja kiintoainepitoisuuksille laskettiin vuorokausiarvot muodostamalla kullekin aineelle olemassa olevien havaintojen ja mallin näytteenottoajanhetkelle laskemien valunnan välinen regressioyhtälö. Yhtälön avulla laskettiin pitoisuuksien vuorokausiarvot 10 vuoden jaksolle.

Vuorokausiarvoista laskettiin vuorokausihuuhtoumat (kg/ha/d) ja näistä vuosi- arvot. Keskimääräinen typpihuuhtouma oli 6,9 kg/ha/a, keskimääräinen fosforihuuhtouma oli 0,28 kg/ha/a ja keskimääräinen kiintoainehuuhtouma oli 92,6 kg/ha/a. Mallista saadut vuosihuuhtoumat olivat erittäin lähellä RYVE-projektissa näytteenoton ja virtaaman mittauksen perusteella pientaloalueelle saatuja vuosi- arvoja.

Huuhtouma- arvoista laskettiin ainevirtaama käyttäen rakennetun alueen pinta- alaa (246,5 ha). Typen keskimääräinen ainevirtaama jaksolla 1994-2003 rakennetuilta alueilta oli 1711 kg/ha/a, fosforin keskimääräinen ainevirtaama 69 kg/ha/a ja kiintoaineen keskimääräinen ainevirtaama 22836 kg/ha/a. Salmisen (2003) selvittämästä kaikkien järven laskevien ojien yhteensä tuomasta ainevirtaamasta rakennetuilta alueilta kulkeutuva kokonaistyyppi on järven kokonaiskuormasta 6 %, kokonaisfosfori on järven kokonaiskuormasta 8 % ja kiintoaine 15 %. Siten rakennettujen alueiden järvelle aiheuttama kuormitus on varsin pieni peltovaltaisen valuma- alueen aiheuttamaan kuormitukseen verrattuna.

Katumajärven itäpuolelle on suunnitteilla uusia asuinalueita yhteensä 576 hehtaarin verran nykyisen 246 ha lisäksi. Tämän perusteella voidaan arvioida hulevesikuormituksen lisääntyvän pinta-alojen suhteen mukaan 3,3-kertaiseksi.

Hulevesien aiheuttamia ongelmia voidaan pyrkiä vähentämään imeyttämällä sadevettä maaperään ja siten vähentämällä hulevesiverkostoon joutuvan veden määrää. Jos imeyttäminen ei ole mahdollista, voidaan hyödyntää peltojen valumavesien käsittelyyn tarkoitettuja keinoja kuten laskeutusaltaita ja kosteikoita. Työhön sisältyi myös alustava hulevesien käsittelysuunnitelma vuoden 2007 asuntomessualueelle Harvoilanmäelle järven koilliskulmassa. Koska alueen maaperä on moreenia, veden imeyttäminen olisi vaikeaa ja lisäksi alueen kaavaan ei sopinut imeytysjärjestelmä. Siksi työssä päädyttiin ehdottamaan laskeutusallasta ja kosteikkoa sadevesien purkupaikan ja Myllyjoen väliselle alueelle, joka työtä kirjoitettaessa oli niittyä. Altaan ja kosteikon koko mitoitettiin käyttäen kadun kuivanapidon suunnitteluun tarkoitettua mitoitussadetta.

Lähdeluettelo

Ahponen, Hannele. 2003. Kohti luonnonmukaisempaa taajamahydrologiaa. Diplomityö. Vesitalouden ja vesirakennuksen laboratorio. Teknillinen korkeakoulu.

Cahill, Thomas. 1994. A Second Look at Porous Pavement/Underground Recharge. Watershed Protection Techniques, Vol. 1, No. 2, summer 1994, ss. 55-61. Saatavilla: <http://www.epa.gov/owow/nps/wpt/vol1no2.pdf>

Caraco, Deb ja Claytor, Richard. 1997. Stormwater BMP Design Supplement for Cold Climates. Center for Watershed Protection. WWW-julkaisu. <http://www.cwp.org/cold-climates.htm>. Viitattu 26.3.04

Center for Watershed Protection. 2000. The Impacts of Urbanization. Saatavilla: www.stormwatercenter.net -> Slideshows -> .

Center for Watershed Protection. 2000b. Design of Stormwater Ponds and Wetlands. Saatavilla: www.stormwatercenter.net -> Slideshows ->

Chang, G., J. Parrish ja C. Souer. 1990. First Flush of Stormwater Pollutants Investigated in Texas. Watershed Protection Techniques. Vol.1, No. 2 – Summer 1994. s. 88-90. Saatavilla: <http://www.epa.gov/owow/nps/wpt/vol1no2.pdf>

Heino, R. 1978. Urban effect on climatic elements in Finland. Geophysica 15,2, s. 171-188.

Hyvärinen, Veli. 1986. Valunta. Teoksessa: Mustonen, Seppo (toim.) 1986. Sovellettu hydrologia. Vesiyhdistys ry. Helsinki. ISBN 951-95555-1-X ISSN 0782-9612.

Hyvärinen, Veli ja Korhonen, Johanna (toim.) 2003. Hydrologinen vuosikirja 1996–2000. Suomen ympäristö 599. ISBN 952-11-1319-t (PDF). 219 s.

Hyöty, Perttu. 2003. Hulevesien ekologinen hallinta – kohdealueena Vuores. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. 110 s., 29 liitesivua.

Hämeenlinnan kaupungin mittauslaitos. 2003. Kartta teiden päällysteistä. saatu 11.3.2004

Hämeenlinnan seudun Vesi Oy. 2003. Sadevesiviemärikartta.

Ilmatieteen laitos. 2003. Tutkimus – Ilmasto ja sen muutos – Suomen ilmasto.
http://www.fmi.fi/tutkimus_ilmasto/ilmasto_9.html Viitattu 22.3.04

Jormola, Jukka ja Kotola, Jyrki. 2003. Kaupunkihydrologia. Teoksessa Jormola *et al.* (toim.) 2003. Luonnonmukainen vesirakentaminen. Uusia näkökulmia vesistösuunnitteluun. Suomen ympäristö 631.
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=10035&lan=FI>

Jutila, Heli. 1998. Katumajärven suojelua yhteisvoimin. Ympäristö ja terveys 2-3/98.

Jutila, Heli. 2002: Kanta-Hämeen järvet kestäväan kehitykseen. Hankehakemus Tavoite 2 -ohjelmaan. - Ympäristöosaston monisteita 42. Hämeenlinnan seudun kansanterveystyön kuntayhtymän ympäristöosasto. 20 s. + 17 liitettä (66 liitesivua).

Jutila H., Hillebrandt K., Järveläinen E. & Leimu H. 2003. Katumajärveä kunnostamaan. Ympäristöosaston julkaisuja 24. Esite. JÄRKI-hanke ja Katumajärven suojeluyhdistys ry. 40 s. Hämeenlinna 2003.

Jutila, Heli. 2004. Väliraportti 4 (1.10.2003-29.2.2004). Kanta-Hämeen järvet kestäväan kehitykseen.

Jutila, H. 2004b: Asuntomessualueen ympäristö- ja luontoprojekti eli AMY: Elävä ja toimiva ympäristö asumiseen. Projektihakemus Hämeen ympäristökeskukselle. - Ympäristöosaston monisteita 57. Hämeenlinnan seudun kansanterveystyön kuntayhtymän ympäristöosasto. 12 s. + 5 liitettä.

Kannala, Markus. 2001. Vaasan kaupungin hulevesikuormituksen vähentäminen. Alueelliset ympäristöjulkaisut 216. Länsi-Suomen ympäristökeskus. Vaasa 2001. 95 s.

Karvonen, Tuomo. 2003. WWW-pohjainen opetusmateriaali kurssille Hydrologian erikoisopintojakso. Saatavilla: <http://www.water.hut.fi/wr/kurssit/Yhd-12.135/> Viitattu 23.11.2004

Karvonen, Tuomo. 2004. HUT-CONCEP-mallin kuvaus ja käyttöohje (julkaisematon)

Kotola, Jyrki ja Nurminen, Jyrki. 2003a. Kaupunkialueiden hydrologia – valunnan ja ainehuuhtuoman muodostuminen rakennetuilla alueilla. Osa 1: kirjallisuustutkimus. Teknillisen korkeakoulun vesitalouden ja vesirakennuksen julkaisuja 7.

Kotola, Jyrki ja Nurminen, Jyrki. 2003b. Kaupunkialueiden hydrologia – valunnan ja ainehuuhtuoman muodostuminen rakennetuilla alueilla. Osa 2: koealue tutkimus. Teknillisen korkeakoulun vesitalouden ja vesirakennuksen julkaisuja 8.

Kuusisto, Esko. 1986. Sadanta. Teoksessa: Mustonen, Seppo (toim.) 1986. Sovellettu hydrologia. Vesi yhdistys ry. Helsinki. ISBN 951-95555-1-X ISSN 0782-9612.

Kuusisto, Esko. 1986b. Lumipeite ja jääilmiöt. Teoksessa: Mustonen, Seppo (toim.) 1986. Sovellettu hydrologia. Vesi yhdistys ry. Helsinki. ISBN 951-95555-1-X ISSN 0782-9612.

Loukkaanhuhta, Ulla. 2001. Veden reittejä - Sadeveden kierron elvyttäminen Vaasan eteläisen kaupunkikeskustan alueella. Diplomityö, Teknillinen korkeakoulu. Maisema-arkkitehdin koulutusohjelma.

Maanmittaushallitus. Hämeenlinnan maaperäkartta 1989.

Mauranen, Kari. 1995. Biostatistiikka-kurssin opetusmoniste, Terveystieteiden ja -talouden laitos, Kuopion yliopisto. Saatavilla http://www.uku.fi/~mauranen/bis/bis4_doc.htm

Melanen, Matti ja Laukkanen, Risto. 1981. Quantity of storm runoff water in urban areas. Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja 42, s. 3-39. Vesi hallitus, Helsinki.

Melanen, Matti. 1981. Quality of runoff water in urban areas. Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja 42, s. 123-190. Vesi hallitus, Helsinki.

Melanen, Matti. 1982. Valtakunnallisen hulevesitutkimuksen tulokset. Vesitalous 3/1982, s. 1-20.

Nurmi, Paula. 2001. Sadevesiviemäreiden vedenlaatu. Helsingin kaupungin ympäristökeskus, moniste. 22 s. Helsingin kaupungin ympäristökeskus, Helsinki. Saatavissa: http://www.hel.fi/ymk/julkaisut/Monisteet/monisteet2001/moniste08_01.pdf

Nurminen, Jyrki. 2004. RYVE-projektin dataa (julkaisematonta)

Oberts, Gary L. 1994. Influence of Snowmelt Dynamics on Stormwater Runoff Quality. Watershed Protection Techniques, Vol. 1, No. 2, summer 1994, ss. 55-61. Saatavilla: <http://www.epa.gov/owow/nps/wpt/vol1no2.pdf>

Oberts, Gary. 1994b. Performance of Stormwater Ponds and Wetlands in Winter. Watershed Protection Techniques, Vol. 1, No. 2, summer 1994. Saatavilla: <http://www.epa.gov/owow/nps/wpt/vol1no2.pdf>

Oravainen, Reijo. 1999. Opasvihkonen vesistötulosten tulkitsemiseksi. Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry. WWW-dokumentti, saatavilla: http://www.kvvy.fi/cgi-bin/tietosivu_kvvy.pl?sivu=opasvihkonen.html viitattu 21.4.04

Oulun kaupungin tekninen keskus. 2003. Toppilansaaren viheralueiden ja valaistuksen yleissuunnitelma. www-dokumentti, saatavilla: <http://www.oulu.ouka.fi/tekninen/toppilansaari/pdf/toppilansaari%20valaistus.pdf>

Puustinen, Markku ja Jormola, Jukka. 2003. Maatalouden ympäristötuen erityistuet v. 2000-2006: Kosteikot ja laskeutusaltaat. Maa- ja metsätalousministeriö. Lehtinen.

Puustinen, Markku *et al.* 2001. Maatalouden vesiensuojelukosteikot. VESIKOT-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 499, Helsinki. 61 s. ISBN 952-11-0932-7.

RIL 165-2. 1988. Liikenne ja väylät II. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL. Helsinki. ISBN 951-758-150-5.

Mika Ristimäki, Kari Oinonen, Harri Pitkäranta, Kaisu Harju. 2003. Kaupunkiseutujen väestömuutos ja alueellinen kasvu. Suomen ympäristö 657, Alueiden käyttö, 196 s. ISBN 952-11-1532-7 (PDF)

Ruohtula, Jukka (toim.). 1996. Kosteikkojen ja laskeutusaltaiden suunnittelu. 50 s. Suomen ympäristökeskuksen moniste 11. Helsinki.

RYVE-projektin kotisivut <http://www.water.hut.fi/wr/research/urban/ryve/>

Salminen, P. 2003. Katumajärven ojen kuormitusselvitys ja Myllyjoen laskeutusallas- ja kosteikkosuunnitelma. Opinnäytetyö. Hämeen ammattikorkeakoulu, Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Hämeenlinna. 82 s.

Stahre, Peter ja Torell, Svante. 1978. Infiltration av dagvatten. Kungliga tekniska högskolan, avdelningen för vattenvårdsteknik, Meddelande 5 / Rationella avloppssystem

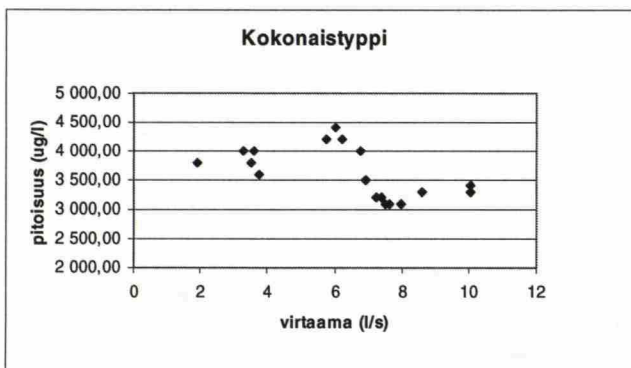
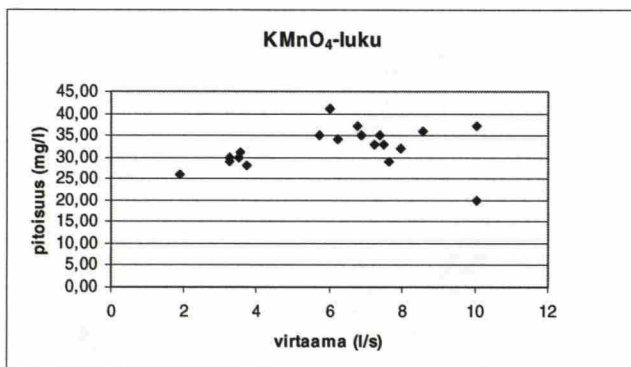
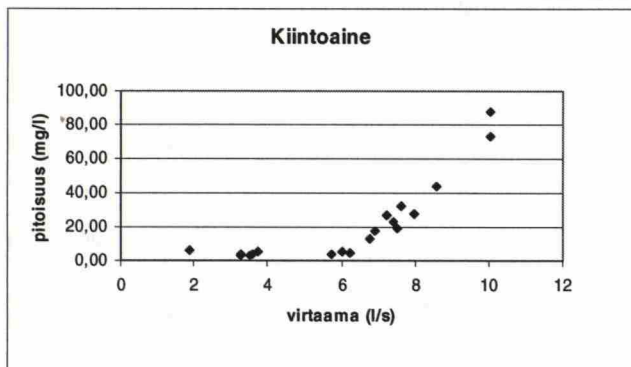
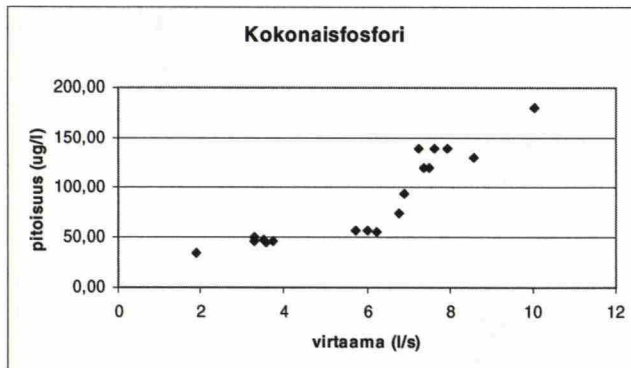
US EPA. 1999. Preliminary Data Summary of Urban Stormwater Best Management Practices. WWW-dokumentti: <http://www.epa.gov/ost/stormwater/> viitattu 30.3.04

Vakkilainen, Pertti. 1982. Maa-alueelta tapahtuvan haihdunnan arvioinnista. Väitöskirja, Oulun yliopisto. Acta Universitatis Ouluensis, Series C Technica No. 20. 146 s.

Vakkilainen, Pertti. 1986. Maavedet. Teoksessa: Mustonen, Seppo (toim.) 1986. Sovellettu hydrologia. Vesiyhdistys ry. Helsinki. ISBN 951-95555-1-X ISSN 0782-9612.

Vesihallitus 1986. Maankuivatuksen suunnittelu, 1. osa. Vesihallituksen tiedotus 278. Helsinki. ISBN 951-46-9845-2.

Liite 1 Sulantakauden ainepitoisuudet virtaaman funktiona



Liite 2 Kesäajan ainepitoisuudet virtaaman funktiona

